

UNIVERSITE DE PARIS

**FACULTÉ DE PHARMACIE**

*Année 1934-1935*

**N° 1**

---

**LA FARINE PANIFIABLE  
ET LES "AMÉLIORANTS" BIOLOGIQUES  
DE LA PANIFICATION**

---

**THÈSE**

pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris  
(Pharmacie)

*présentée et soutenue le      Novembre 1934*

PAR

**Jean COURBE**

Pharmacien de la Faculté de Paris

---

JURY } MM. A. GORIS, Président.  
R. FABRE, Professeur.  
J. RÉGNIER, Agrégé.

---

PARIS  
**VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS**  
23, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 23

---

1934







Digitized by the Internet Archive  
in 2026

LA FARINE PANIFIABLE  
ET LES “AMÉLIORANTS” BIOLOGIQUES  
DE LA PANIFICATION



UNIVERSITE DE PARIS

---

**FACULTÉ DE PHARMACIE**

*Année 1934-1935*

**N° 1**

---

**LA FARINE PANIFIABLE  
ET LES "AMÉLIORANTS" BIOLOGIQUES  
DE LA PANIFICATION**

---

**THÈSE**

pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris  
(Pharmacie)

*présentée et soutenue le      Novembre 1934*

PAR

**Jean COURBE**

Pharmacien de la Faculté de Paris

---

JURY } MM. A. GORIS, Président.  
R. FABRE, Professeur.  
J. RÉGNIER, Agrégé.

---

PARIS  
**VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS**  
23, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 23

---

1934

# PERSONNEL DE LA FACULTÉ DE PHARMACE

## ADMINISTRATION

MM. GUERIN, *Doyen*, O. \*,  $\frac{1}{2}$  I.  
P. LEBEAU, *Assesseur*, O. \*,  $\frac{1}{2}$  I.  
P. DESPORT, *Secrétaire*, \*,  $\frac{1}{2}$  I.

## PROFESSEURS

|                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| MM. GUERIN, O. *, $\frac{1}{2}$ I. | Botanique générale.                 |
| PERROT, O. *, $\frac{1}{2}$ I.     | Histoire naturelle des médicaments. |
| COUTIÈRE, O. *, $\frac{1}{2}$ I.   | Zoologie.                           |
| LEBEAU, O. *, $\frac{1}{2}$ I.     | Pharmacie chimique.                 |
| BOUGAULT, *, $\frac{1}{2}$ I.      | Chimie analytique.                  |
| GORIS, O. *, $\frac{1}{2}$ I.      | Pharmacie galénique.                |
| TASSILLY, O. *, $\frac{1}{2}$ I.   | Physique.                           |
| DAMIENS, *, $\frac{1}{2}$ I.       | Chimie minérale.                    |
| HERISSEY, O. *, $\frac{1}{2}$ I.   | Chimie biologique.                  |
| SOMMELET, *, $\frac{1}{2}$ I.      | Chimie organique.                   |
| LUTZ, *, $\frac{1}{2}$ I.          | Cryptogamie et Microbiologie.       |
| FABRE, *, $\frac{1}{2}$ I.         | Toxicologie.                        |
| LAUNOY, O. *, $\frac{1}{2}$ I.     | Professeur sans chaire.             |

*Doyen honoraire* : M. RADAIS, O. \*,  $\frac{1}{2}$  I.

*Professeurs honoraires* : MM. DELEPINE, O. \*,  $\frac{1}{2}$  I. et GUERBET, \*,  $\frac{1}{2}$  I.  
BEHAL, G. O. \*,  $\frac{1}{2}$  I.

## CHARGÉS DE COURS

|                                        |                                             |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| MM. Marc HONNORAT, *, $\frac{1}{2}$ I. | Législation et Déontologie pharmaceutiques. |
| LAUNOY, O. *, $\frac{1}{2}$ I.         | Pharmacodynamie.                            |
| DELABY, *, $\frac{1}{2}$ I.            | Hydrologie et Hygiène.                      |
| PICON, $\frac{1}{2}$ I.                | Minéralogie.                                |
| BACH, $\frac{1}{2}$ I.                 | Microbiologie.                              |

## AGRÉGÉS EN EXERCICE

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| MM. DELABY, *, $\frac{1}{2}$ A. | MM. BACH, $\frac{1}{2}$ I. |
| PICON, $\frac{1}{2}$ I.         | BEDEL, $\frac{1}{2}$ I.    |
| MASCRE, $\frac{1}{2}$ I.        | RÉGNIER, $\frac{1}{2}$ I.  |
| FLEURY, $\frac{1}{2}$ I.        |                            |

## CHEFS DES TRAVAUX PRATIQUES

MM. BEDEL,  $\frac{1}{2}$  I., *agrégé*, chargé des T. P. de 1<sup>re</sup> année..... Chimie générale.  
FLEURY,  $\frac{1}{2}$  I. et RÉGNIER,  $\frac{1}{2}$  I. : *agrégés*,  
chargés des travaux de Chimie analytique.  
SOUEGES,  $\frac{1}{2}$  I..... Micrographie.  
LEROUX,  $\frac{1}{2}$  I..... Physique.  
DEVAL, \*,  $\frac{1}{2}$  I..... Microbiologie.  
DELABY, \*,  $\frac{1}{2}$  I., PICON,  $\frac{1}{2}$  I. et MASCRE,  $\frac{1}{2}$  I. :  
*agrégés*, chargés des travaux généraux de 4<sup>e</sup> année.  
*Bibliothécaire en Chef* : M. BERNARD,  $\frac{1}{2}$  I.



A MONSIEUR LE PROFESSEUR A. GORIS, O. ✱, ✱ I.

*Directeur de la Pharmacie Centrale des Hôpitaux  
et Hospices civils de Paris*

Hommage de respectueuse gratitude.

A MONSIEUR LE PHARMACIEN-COLONEL P. BRUERE, O. ✱, ✱ I.

*Directeur du Laboratoire de Chimie Alimentaire  
de l'Inspection générale des Substances de l'Armée*

En témoignage de profonde reconnaissance et en souvenir d'une collaboration confiante qui nous a permis de mener à bien ce travail.

A MES PARENTS

En témoignage de ma tendre affection.

# LA FARINE PANIFIABLE

## ET LES

### “AMÉLIORANTS” BIOLOGIQUES DE LA PANIFICATION

---

## Avant-propos

L'interdiction d'utiliser en minoterie et en boulangerie des produits chimiques, rappelée par la circulaire ministérielle du 7 mars 1931, a eu pour conséquence un emploi plus large — d'ailleurs autorisé — des « améliorants » biologiques. Sous cette appellation, on désigne des correctifs de la fermentation panitaire, d'origine végétale ou animale; ces produits sont ajoutés à la farine de froment soit au moulin (farine de fèves), soit le plus souvent au pétrissage (farine et extrait de malt, poudre de lait, etc...); dans ce cas, ils sont utilisés seuls ou diversement associés, dans des proportions parfois exagérées et sans discernement. C'est pourquoi il nous a paru intéressant de rechercher l'influence de leur addition, en diverses proportions, sur la valeur boulangère des farines, dans le but de préciser les conditions de leur emploi.

Il était nécessaire, au préalable, de définir la farine panifiable et d'indiquer, dans le cadre de la normalisation, les procédés à utiliser pour son examen. Cette étude intéresse les pharmaciens susceptibles d'être appelés, comme experts, à donner leur avis sur les produits de mouture.

En ce qui concerne la valeur boulangère des farines, que les correctifs visent en principe à améliorer, nous nous sommes particulièrement appliqués à sa détermination par

des mesures d'ordre biologique et mécanique, dans des conditions aussi rapprochées que possible de celles de la panification.

Sur ces bases, il nous a été possible, à partir de farines témoins judicieusement choisies, d'établir une discrimination entre les améliorants de différents types dont la composition avait été préalablement déterminée. Ces recherches nous ont permis de dénoncer leur emploi systématique, trop souvent conseillé pour augmenter le rendement en pain.

Ce travail a été effectué au laboratoire de l'Inspection générale des subsistances de l'Armée, aux Invalides, sous la direction de M. le Pharmacien-Colonel BRUÈRE qui a bien voulu nous inspirer ce sujet en accord avec notre président de thèse, M. le Professeur GORIS.

Nous sommes heureux de leur présenter ici nos très vifs remerciements et nos sentiments de respectueuse et sincère reconnaissance pour la grande bienveillance qu'ils nous ont toujours montrée et les précieux conseils qu'ils nous ont constamment prodigués.

Que M. le Professeur FABRE et M. le Professeur Agrégé RÉGNIER, qui nous ont fait l'honneur de faire partie de notre jury, veuillent bien agréer l'expression de notre gratitude.

Nous tenons également à remercier tous ceux qui, au cours de ce travail, nous ont aidé de leur documentation et de leurs conseils éclairés.

# Plan

## PREMIERE PARTIE

### LA FARINE PANIFIABLE

- CHAPITRE I. — Notions générales sur le grain de blé et la mouture.
- CHAPITRE II. — Examen physique des farines.
- CHAPITRE III. — Analyse chimique des farines.
- CHAPITRE IV. — Contingent glucidique et pouvoir diastasi-que des farines.
- CHAPITRE V. — Propriétés mécaniques des pâtes de farine.

## DEUXIEME PARTIE

### LES « AMÉLIORANTS » BIOLOGIQUES DE LA PANIFICATION

- CHAPITRE I. — La panification moderne et les « amélio-rants » biologiques.
- CHAPITRE II. — Farine de malt et extrait de malt.
- CHAPITRE III. — Farine de fèves.
- CHAPITRE IV. — Farine de tourteaux de soja.
- CHAPITRE V. — Poudre de lait écrémé.
- CHAPITRE VI. — Répercussions des « améliorants » biologi-ques sur l'état physique du pain.

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.



PREMIERE PARTIE

**La farine panifiable**



## CHAPITRE PREMIER

### Notions générales sur le grain de blé et la mouture

La nature complexe du grain de blé nécessite une étude préalable de sa constitution et des procédés de mouture, pour permettre d'étudier la composition et les propriétés des farines, en tenant compte des conditions pratiques de leur extraction. Il convient également de préciser les principaux termes utilisés en minoterie et d'indiquer les types de farines qui répondent aux exigences de l'alimentation rationnelle.

#### I. — Constitution et composition du grain de blé

Le grain de blé, fourni par plusieurs espèces du genre *triticum* de la famille des graminées, est un caryopse (fruit sec, indéhiscant, dont le péricarpe est intimement soudé à l'albumen); il comprend trois parties principales :

1° L'albumen ou endosperme, vulgairement appelé amande farineuse;

2° L'enveloppe ou périsperme, constituée par l'ensemble des assises externes.

3° Le germe ou embryon.

A) L'albumen forme, en moyenne, 83 p. 100 du poids du grain; c'est cette partie, à prédominance amylacée, que la meunerie cherche à extraire le plus complètement possi-

ble; il est formé de cellules à membrane mince renfermant à la fois des grains d'amidon et des protides gluténogènes.

Dans la *zone centrale* qui forme la masse principale de l'albumen (50 p. 100 du grain environ), les globules d'amidon sont relativement grands, pouvant atteindre 50  $\mu$  au grand axe; par suite, la proportion des protides s'accuse très faible; mais elle croît nettement dans la *zone moyenne* ou intermédiaire (25 p. 100 du grain); corrélativement, les grains d'amidon sont de dimensions plus petites; ils atteignent leur plus petit diamètre (1 à 5  $\mu$ ) dans la *zone périphérique* en contact direct avec l'assise protéique de l'enveloppe très riche en protides gluténogènes et, par suite, moins amylacée.

Outre les matières amylacées et protéiques, l'analyse chimique révèle une proportion de matières grasses d'environ 1 g. 6 p. 100 et un taux de cendres de l'ordre de 0 g. 75 p. 100. Ces matières minérales sont d'ailleurs inégalement réparties; leur pourcentage étant sensiblement plus élevé à la périphérie qu'au centre de l'amande.

B) L'**enveloppe** est soudée et engrenée sur la première couche des cellules de l'albumen « comme la pellicule de la grenade enchâsse les grains de ce fruit » (PARMENTIER). L'étude microscopique d'une coupe transversale d'un grain de blé (fig. n° 1 ci-contre) permet de distinguer les trois assises qui la constituent :

Les trois assises extérieures proviennent de l'ovaire et forment le *péricarpe*, ce sont :

- a) l'épicarpe formé de cellules épaisses;
- b) le mésocarpe avec ses cellules transversales;
- c) l'endocarpe caractérisé par ses cellules tubulaires.

Les trois autres dérivent de l'ovule et portent les noms de :

- a) *Tégument séminal* ou testa ancien; d'après P. GUÉ-

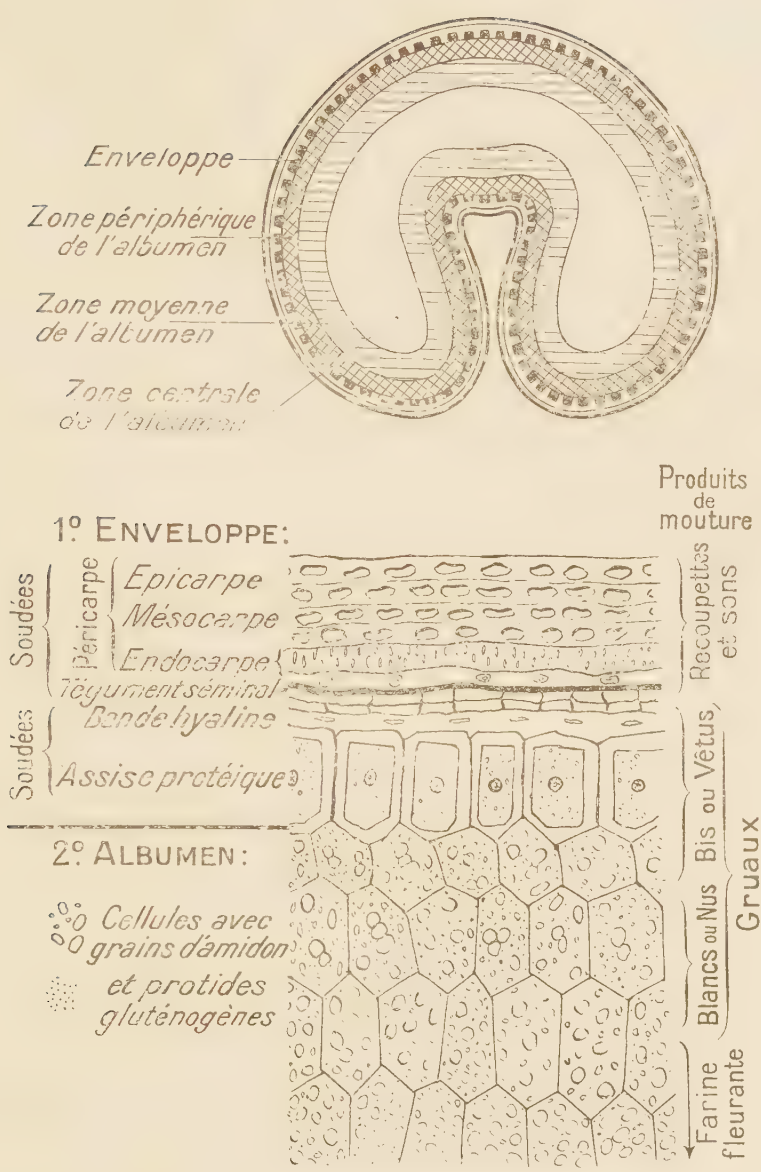


FIG. 1. — Coupe transversale du grain de blé (schéma d'ensemble du grain; détail de l'enveloppe et de la zone périphérique de l'albumen).

RIN [62], le tégument externe de l'ovule a disparu et seul le tégument interne persiste.

b) *Bande hyaline* ou endoplèvre; son individualité est d'ailleurs mise en doute par certains auteurs, car elle est confondue pratiquement avec l'assise protéique.

c) *Assise protéique* ou à aleurone; les cellules sont épaisses, rectangulaires, renfermant des petits grains de forme régulière, cristalloïde, dits d'aleurone et des principes vitaminiques associés au carotène qui les colore en jaune, des complexes protido-phosphato-magnésiens, des éléments « oligosynergiques » (manganèse, zinc, cuivre, etc...) des ferments solubles dont l'activité est liée à leur présence, d'où le nom d'assise à diastases, qui lui est parfois appliqué.

D'après A. GIRARD [60], ces divers groupes d'assises entrent dans la composition de l'enveloppe dans la proportion suivante (chiffres arrondis) :

|                                       |      |        |
|---------------------------------------|------|--------|
| péricarpe .....                       | 31   | p. 100 |
| tégument séminal .....                | 7,7  | p. 100 |
| bande hyaline et assise protéique.... | 61,3 | p. 100 |

l'ensemble représentant, en moyenne, 15,5 p. 100 du poids total du grain.

L'analyse chimique fait ressortir une très forte proportion de produits ligno-cellulosiques, surtout dans l'enveloppe externe (péricarpe et tégument séminal) où leur taux dépasse 75 p. 100; par contre, l'assise protéique contient une proportion importante de matières azotées (25 p. 100) et de matières minérales (5 p. 100 environ); le manganèse s'y trouve dans la proportion de 16 mg. de matière sèche; ce pourcentage tombe à 6 mg. dans l'enveloppe externe, ce qui conduit à un taux moyen de 13 mg. p. 100 pour l'ensemble de l'enveloppe [21].

C) **Le germe** représente environ 1,5 p. 100 du poids total du grain. D'après A. GIRARD, 1.200 germes sont nécessaires pour faire un gramme. Au point de vue anatomique, on y reconnaît l'embryon proprement dit (comprenant la gemmule, la tigelle et la radicule) et le scutellum, généralement considéré comme un cotylédon, qui sépare l'embryon de l'albumen.

Le contenu des cellules du germe est fortement coloré en jaune; la masse est parsemée d'une multitude de gouttelettes huileuses qui lui donnent un aspect pseudo-granuleux, non homogène.

Voici, à titre indicatif, la composition de germes « purs » que nous avons eu à examiner :

| <i>en g. % de produit</i>            |          |            |                 |
|--------------------------------------|----------|------------|-----------------|
|                                      |          |            | <i>calculé</i>  |
| humidité                             | .....    | 12         | <i>sec</i>      |
| cendres                              | .....    | 5,2        | 5,9             |
| matières azotées ( $n \times 6,25$ ) | .....    | 42,5       | 48,3            |
| extractif à l'éther                  | .....    | 12,7       | 14,4            |
| hydrocarbonés                        | glucides | amylacés   | ..... 21,7 24,7 |
|                                      |          | réducteurs | ..... traces »  |
|                                      |          | saccharose | ..... 4,8 5,4   |
|                                      |          | cellulose  | ..... 2,1 2,4   |

Les matières azotées, contrairement à celles de l'assise protéique, sont molles et facilement attaquables par les acides.

Les matières grasses, à indice d'iode élevé, rancissent très facilement; l'acidité s'accroît rapidement par vieillissement. Des essais de conservation par le froid ont donné d'excellents résultats.

L'étude de la minéralisation fait apparaître une forte proportion de phosphates (2/3 phosphates solubles de K et Na et 1/3 phosphates Ca et Mg). R. LECOQ [75] cite les

chiffres suivants, exprimés en mg. p. 100 g. de substance sèche : calcium 71, potassium 296, phosphore 1.050, sodium 722, magnésium 342, fer 0,7, soufre 325, chlore 70; il convient d'ajouter le manganèse qui se trouve dans le germe au taux moyen de 19 mg. p. 100.

Nous avons résumé dans le tableau ci-dessous la répartition dans le grain de blé des principaux éléments constitutifs que l'on retrouve à l'analyse chimique des produits de mouture (exception faite pour la cellulose qui représente pour la farine panifiable un apport accidentel). Ces résultats sont exprimés p.-100 de produit calculé sec.

|                                       | Cendres      |        | Manganèse     |        | Matières grasses |        | Matières azotées |        |
|---------------------------------------|--------------|--------|---------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
|                                       | en g. p. 100 |        | en mg. p. 100 |        | en g. p. 100     |        | en g. p. 100     |        |
|                                       | de produit   | de blé | de produit    | de blé | de produit       | de blé | de produit       | de blé |
| Germe (1,5 p. 100 du grain).....      | 5,50         | 0,080  | 19,00         | 0,285  | 13,50            | 0,20   | 50,00            | 0,75   |
| externe.....                          | 3,00         | 0,180  | 6,60          | 0,395  | »                | »      | 8,50             | 0,75   |
| Enveloppe \ (6 p. 100)                |              |        |               |        |                  |        |                  |        |
| interne.....                          | 6,70         | 0,635  | 16,00         | 1,520  | 10,00            | 0,95   | 29,00            | 2,75   |
| (15,5 p. 100 du grain) \ (9,5 p. 100) |              |        |               |        |                  |        |                  |        |
| Albumen.....                          | 0,85         | 0,705  | 0,84          | 0,700  | 1,00             | 0,83   | 13,00            | 10,75  |
| (83 p. 100 du grain)                  |              |        |               |        |                  |        |                  |        |
| Blé.....                              |              | 1,600  |               | 2,90   |                  | 1,98   |                  | 14,75  |

## II. — Remarques technologiques sur le blé et la mouture

Avant d'aborder l'examen sommaire des procédés de mouture, il nous a paru nécessaire de rappeler certaines définitions trop souvent perdues de vue, ainsi que les principaux termes consacrés par l'usage.

A) Un blé est défini par :

1° *Sa variété.* — Les blés indigènes ou *tendres* ont une cassure opaque et farineuse; les blés exotiques ou *durs* ont une cassure vitreuse ou cornée.

2° *Son poids à l'hectolitre* (P), déterminé commercialement à l'aide d'une trémie conique et au laboratoire avec un pèse-grain. Les blés sont dits de première qualité si P est supérieur à 75 kg.; de deuxième qualité lorsque P est au moins égal à 72 kg. et de troisième qualité quand P est inférieur à 70 kg.

L'humidité tend à faire baisser le poids à l'hectolitre (de 1 kg. pour 1,2 p. 100 d'eau en plus).

3° *Sa grosseur*, appréciée suivant le poids de 1000 grains; le grain de blé moyen pesant environ 0 gr. 05 (soit 50 gr. pour 1.000 grains). Les blés sont dits *petits* au-dessous de 35 gr. et *gros* au-dessus de 55 gr.

B) **La mouture** du grain de blé est une opération de broyage, suivie de tamisage qui « vise essentiellement à séparer les produits panifiables appelés *farines* des déchets de mouture groupés sous le nom d'*issues* et qui sont constitués par les remoulages et les sons » (P. BRUÈRE [22]). Cette opération se différencie par suite du broyage habituel de certaines graines effectué, en principe, sans résidu (poivre en grains, café torréfié, graines de lin, de moutarde, etc...)

On appelle *taux d'extraction* le rendement en toutes farines panifiables obtenu à partir de 100 kg. de blé industriellement propre. Il importe de ne pas confondre ce rendement avec le *taux de blutage* qui représente le pourcentage des issues.

L'expérience a montré que les pertes, par poussières et dessiccation, au cours de la mouture peuvent s'élever jusqu'à deux p. 100 (taux admis par la douane). D'où la formule générale :

$$\text{taux d'extraction} + \text{taux de blutage} = 100 - 2 = 98 \text{ p. 100}$$

La *valeur meunière* d'un blé est pratiquement définie par son potentiel en toutes farines panifiables; les principaux facteurs de ce rendement sont :

- a) La perfection des procédés de mouture;
- b) Pour un même taux d'humidité la variété, le poids à l'hectolitre et la grosseur du grain.

### III. — Procédés de mouture

Le but de la mouture est d'obtenir la farine provenant de l'amande « de toute l'amande et rien que de l'amande » (BARATON [8]). La soudure intime de la zone périphérique de l'albumen avec la couche interne de l'enveloppe rend cette opération particulièrement délicate; mais le perfectionnement des procédés de mouture permet aujourd'hui de séparer à volonté les différentes parties du grain de blé.

Avant sa mouture, le blé est soumis aux opérations de *nettoyage* et de *triage*. Le triage mécanique sépare les déchets cumulés (moyenne normale, 2 p. 100), constitués par des criblures vénales (graines étrangères nutritives, inertes ou nuisibles) et des déchets sans valeur (organiques ou minéraux). On soumet ensuite le blé au lavage, pour éliminer les poussières logées dans le sillon et rendre les pellicules de son plus souples et moins friables; ce mouillage est obligatoirement suivi du séchage et du conditionnement pour ramener le blé au taux d'humidité le plus favorable à sa mouture.

Les procédés employés dans l'industrie meunière peuvent être ramenés à trois types principaux :

A) **Mouture par meules.** — Le procédé est brutal; il consiste à écraser les grains entre deux meules de pierre dont la distance, variable à volonté, permet deux types de moutures dites haute et basse.

Dès le premier tour de meules, on obtient une « *boulangé* » renfermant :

1° Environ 50 p. 100 de farine dite de premier jet, provenant de la région centrale la plus friable de l'albumen;

2° Des granulations plus résistantes appelées gruaux blancs et bis;

3° Des débris d'enveloppe qui constitueront les sons.

Ces différents groupes de produits sont séparés par tamisage.

En ce qui concerne les sons, il y a lieu de récupérer les débris d'amande qui y sont accolés (*curage*) et la farine fixée à la surface (*séchage*).

La remouture séparée des gruaux, suivie de tamisages, donne dans chaque catégorie des farines (dites de gruaux blancs et bis) et des remoulages (blancs et bis).

La mouture par meules, d'origine très ancienne, malgré les perfectionnements qui lui ont été apportés, cède de plus en plus la place aux méthodes à grand rendement par cylindres.

**B) Mouture par cylindres.** — Le principe de cette mouture progressive est de désagréger l'amande en granulations de plus en plus fines et d'éviter la pulvérisation de l'enveloppe. Elle s'effectue en deux temps principaux : le broyage et le convertissage, ces opérations étant complétées par de nombreux tamisages.

Le *broyage* du blé se fait généralement en six passages sur cylindres cannelés, la réduction du grain se faisant progressivement du premier au dernier passage; cette opération doit tendre à obtenir une aussi faible proportion que possible de farine et une parfaite granulation du grain.

Chacun des appareils de broyage est suivi d'un appareil de séparation par *tamisage* appelé bluterie dont les soies sont placées sur un cadre rotatif hexagonal (bluteaux anciens) ou mieux sur des tamis superposés et animés

d'un mouvement d'oscillation circulaire (blutoir plan ou planchister).

A la sortie de ces appareils, on a :

1° Des produits finis qui doivent être séparés de suite : germes au premier passage, farine à tous les passages, sons au dernier passage.

2° Des produits non finis qui seront à reprendre pour être convertis en farines et qui constituent les gruaux et semoules (1). Ces granulations, provenant de la périphérie de l'albumen, sont coiffées par un « chapeau » constitué par la bande hyaline soudée à l'assise protéique, ce qui justifie leur appellation de gruaux vêtus.

Par « *sassage* », on effectue à l'aide d'un courant d'air un classement des produits par densité.

Par « *désagrégeage* », on enlève la coiffe des gruaux vêtus; la semoule se prête facilement à cette opération qui serait pratiquement impossible dans la farine.

Par « *convertissage* », on transforme à l'aide de cylindres lisses, de plus en plus rapprochés, les semoules dévêtues en farine. Une dernière série de tamisage et le jeu de compartiments ou de tiroirs permet un triage méthodique des produits finis, que l'on dirige vers les chambres à farine.

C) **Mouture par « Soder »**. — Les cylindres des convertisseurs produisent, du fait de leur vitesse différentielle, une forte pression et un violent frottement sur les semoules et farines; l'échauffement de l'eau de constitution des protides qui en résulte exerce un effet à retardement sur la maturation de la farine. Pour obvier à ces inconvénients, tout en poussant la mouture au degré voulu, on utilise des appareils du type « Soder ». L'appareil comprend un

(1) On réserve plus particulièrement le nom de semoules lorsqu'il s'agit de blés durs.

calibreur ou cylindre lisse et une couronne tournant devant une coquille fixe; dans ces conditions, le convertissage s'effectue avec pression et frottement simultanés, les produits restent froids et à finesse égale, la farine obtenue est plus ronde qu'avec les cylindres ordinaires.

La mouture par « Soder » n'élimine pas la totalité du germe de la farine.

#### IV. — Produits de mouture et principaux types de farines

La mouture du blé donne des farines et des issues.

A) Les **issues** comprennent :

1° *Les sons*, appelés, selon leur degré de finesse, gros sons, sons fins ou recoupettes; ils proviennent, en principe, de l'enveloppe externe du grain (péricarpe et tégument séminal);

2° *Les remoulages* qui ont pour origine l'enveloppe interne (assise protéique et bande hyaline) et contenant toujours une proportion plus ou moins forte de farine et du son plus ou moins brisé.

B) La **farine** panifiable provient presque exclusivement de l'albumen; toutefois, elle contient pratiquement quelque débris d'enveloppe ou « piquûres » en quantité variable suivant le procédé de mouture utilisé.

1° Dans la mouture par *meules*, on obtient le plus généralement une farine panifiable avec un taux d'extraction de 70 à 72 p. 100, renfermant la farine de premier jet et celle de la remouture des gruaux blancs; l'addition de 3 à 5 p. 100 de farine de gruaux bis conduit à une farine panifiable qui représente la presque totalité des principes alibiles du grain.

2° Dans la mouture par *cylindres*, pour un même rendement, la farine présente moins de « piquûres » ; d'autre part, on la sépare généralement en farines *première* (60 à 65 p. 100), *seconde* (6 à 8 p. 100) et *troisième* (2 à 3 p. 100), diversement associées dans les différents types de farines.

3° Les farines obtenues par « *Soder* » sont parfois un peu plus « piquées ».

Au point de vue strict de l'hygiène alimentaire, l'appellation de farine devrait être réservée au produit pulvérisé, de coloration blanc-crème ou jaunâtre, suivant la variété de blé utilisée, obtenu par le broyage méthodique du grain de blé industriellement propre et tamisé de façon à ne rejeter que les issues non digestibles par l'organisme humain. Cette définition à laquelle on pourrait donner un caractère international, ne laisse aucun doute sur la composition de la farine qu'il est convenu d'appeler *farine entière*, c'est-à-dire renfermant la totalité des principes alibiles du grain de blé : albumen, germe, assise protéique, à l'exclusion des farines de sons (dispositions essentielles de la loi du 25 avril 1926). Ce type de farine figure avec un caractère officiel au décret du 20 novembre 1927 qui n'est plus en vigueur, et a servi longtemps de base aux moutures de l'Armée; il est obtenu avec un rendement voisin du poids à l'hectolitre (1).

Cette farine conduit au « pain de ménage » dont la coloration bis-blanc de la mie est due à l'action de certaines diastases (gluténase et tyrosinase notamment), plutôt qu'à de nombreuses piquûres cellulosiques.

(1) Dans sa séance du 17 juillet 1934, l'Académie de Médecine a émis un vœu à transmettre aux Pouvoirs publics, pour « tenter la rééducation alimentaire du peuple français par une vaste expérience qui consisterait à fournir aux collectivités dépendant de l'Etat (armée, hôpitaux, écoles, etc » un pain de farine *entière*.

*Nota.* — Il est important de faire remarquer que la présence, dans cette farine, de remoulages bis, constitués en grande partie par l'assise protéique du grain, n'est justifiée que par l'ouverture des cellules de cette assise, soit :

1° Par une action mécanique en partie réalisée à sec par les meules et d'une façon plus complète par éclatement (cas des pâtes obtenues sous pression directement du blé [84].)

2° Par une action diastasique (Procédé Monti) [87] faisant appel aux cytases du son de riz et aux ferments du raisin.

Après la farine entière, le seul type de farine admissible au point de vue primordial de l'hygiène alimentaire est la *farine dite intégrale*, renfermant l'intégralité de l'albumen et dans laquelle le travail des cylindres a permis d'éliminer les germes de la farine bise; sa panification conduit au pain que A. GIRARD a qualifié de « pain bourgeois » ou « pain tout le monde ».

Mais, actuellement, pour des raisons d'ordre économique (1), les taux d'extraction sont abaissés à des pourcentages incompatibles avec les exigences alimentaires [23]. La différence entre le rendement basé sur le poids à l'hectolitre, comme nous venons de l'indiquer, et le taux imposé devrait être obligatoirement prélevé sur la farine la plus amylacée, à provenir de la partie centrale du grain; or, aucune règle n'étant fixée, c'est l'assise protéique et la zone périphérique de l'albumen (dont nous avons vu la richesse en protides, vitamines et diastases) qui se trouvent éliminées pour conduire à une farine plus blanche. On aboutit ainsi, comme nous le verrons par l'analyse chimique, à des farines *déséquilibrées*, privées de la plus grande partie des principes albuminoïdes et minéraux du grain et amy-

(1) La consommation annuelle du pain est tombée en France de 225 kg par habitant en 1910 à 195 kg en 1927 (soit 520 g. par jour). La quantité de blé nécessaire est alors de 78 millions de quintaux avec un taux d'extraction de 75 p. 100 et de 89,7 millions de quintaux avec un taux d'extraction abaissé à 65 p. 100; rappelons que les statistiques officielles font ressortir pour ces dernières années une production de blé supérieure à 92 millions de quintaux.

lacées à l'excès; cette diminution de la valeur alimentaire de la farine qui ne répond plus aux desiderata du corps médical entraîne, par suite, une sous-consommation du pain [110].

Nous montrerons également qu'à ce déséquilibre alimentaire correspond un déséquilibre diastasique et mécanique qui entraîne le boulanger, surtout avec le travail abrégé à la levure, à l'emploi d' « améliorants » biologiques.

## CHAPITRE DEUXIEME

### Examen physique des farines

L'examen physique des farines comporte l'appréciation des propriétés organoleptiques, précisée par l'essai Pékar et complétée par les indications de tamisage. En outre, à chaque échelon de tamisage, il peut y avoir intérêt à pratiquer un examen microscopique et des micro-pékars sur lesquels on effectue toutes réactions colorimétriques et microscopiques susceptibles de fournir un renseignement complémentaire.

#### I. — Caractères organoleptiques

On notera l'*aspect* après compression sur papier blanc, avec nuance plus ou moins crème (farine tendre), parfois franchement jaune (farine dure) et même rougeâtre (farine bise), l'éclat plus ou moins terne et, s'il y a lieu, la présence de larves et de moisissures (farines altérées). L'examen au Pekar complétera d'ailleurs ces premières données.

*L'examen à la lumière de Wood* (1) qui donne pour les blés d'utiles indications (le blé est de qualité d'autant meilleur

(1) L'utilisation des phénomènes de fluorescence dans un but analytique est due à LEHMANN en 1910 sous le nom de Lumineszenz-analyse; Dans nos essais nous avons employé les rayons ultra-violets filtrés produits par le Panscope Bernheim type junior muni d'un filtre Bernheim n° 0.

leure que la fluorescence est plus homogène) peut être également utilisé pour l'analyse des farines.

Normalement la farine de blé a une fluorescence bleuâtre d'autant plus prononcée que la farine est plus fine; l'addition de farines étrangères diminue la fluorescence mais n'est sensible en général qu'après 15 p. 100; cependant nous verrons que l'on peut déceler ainsi moins de 2 p. 100 de farine de soja et poudre de lait.

Les matières minérales (1) ajoutées à la farine ne peuvent être mises en évidence sauf le zinc qui donne avec une goutte d'ortho-oxyquinoléine une fluorescence jaune canari.

Les moisissures se présentent comme de petits points blancs dans la masse bleuâtre. La fluorescence s'affaiblit lentement par vieillissement.

D'après l'impression ressentie au *toucher*, on dit que les farines sont fleurantes ou soyeuses, rondes ou gruauteuses et sableuses à mesure que la grosseur des particules augmente. La farine de mouture récente forme pelote; celle qui est ancienne est fuyante ou plâtreuse. Si elle contient un excès d'eau, la farine est grasse à la main; on peut alors constater la présence de matons (agglomérés farineux).

Enfin, le *goût* et l'*odeur* peuvent donner d'intéressantes indications; une bonne farine n'a qu'une odeur très faible mais agréable; certaines farines en voie d'altération présentent un goût acide, rance, âcre.

Il est important de noter que la farine figure parmi les substances qui retiennent facilement les odeurs du milieu où elles sont stockées.

(1) Pour rechercher les matières minérales de la farine, on agite celle-ci avec du tétrachlorure de carbone ou du chloroforme; après repos, les plus petites traces de matières minérales se précipitent tandis que la farine surnage.

## II — Examen au pékar <sup>(1)</sup>

a) Disposer côte à côte par petits tas, sur une planchette rectangulaire et lisse, les farines à examiner et les comprimer à l'aide d'une plaquette de verre bisautée; puis égaliser les bords à l'aide du biseau.

b) Immerger à plat dans une cuvette, en retirant la planchette du côté opposé à celui où elle a été introduite dans l'eau. Si la farine a été suffisamment comprimée, il ne se formera pas de bulles.

c) Noter les accentuations de teintes obtenues, ainsi que les piqûres par comparaison avec les mêmes farines réunies sur une seconde planchette et un témoin, mais non soumises à l'immersion.

Il est également important d'observer la rétraction ou le gonflement, ainsi que l'accentuation des colorations après dessiccation.

### Indications pratiques :

|                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| — nuance blanche, plus ou moins crème | farines tendres |
| — nuance franchement jaune .....      | — dures         |
| — nuance marron clair, rougeâtre .... | — bises         |
| — nuance gris ardoisé .....           | -- dites noires |
| — présence de marbrures .....         | — mélangées     |

Si l'on dispose de petites quantités de farines ou pour pratiquer l'examen à divers échelons de tamisage, on prépare des micro-pékars par compression des farines, à l'aide d'une spatule lisse en bois, sur une plaquette de porcelaine présentant des alvéoles.

On utilise ces micro-pekar avec avantage pour effectuer

(1) Du nom d'un boulanger hongrois, ce procédé d'examen a été introduit en France par A. GIRARD (1895).

des touches colorimétriques destinées à déceler les *piqûres* et les *rougeurs*.

La nature cellulosique des premiers permet de les mettre en évidence par une solution récente de phloroglucine chlorhydrique qui les colore immédiatement en rouge.

Les seconds, qui ont pour origine le germe et l'assise protéique, sont caractérisés par les oxydases qui les accompagnent. En disposant sur chaque échantillon du micro-pekar sec une goutte d'une solution aqueuse incolore de pyrocatechine à 0 g. 15 p. 100, on obtient grâce à la tyrosinase, une teinte d'un brun marron plus ou moins foncé qui se stabilise pratiquement en moins d'une demi-heure. On peut alors détacher du micro-pekar séché une sorte de confetti que l'on conserve comme test; ainsi que l'ont fait remarquer NOTTIER et LEMOIGNE [89], cet essai des oxydases permet d'apprécier la teneur des farines en remoulages d'une façon plus sûre que les réactions des peroxydases (gaïacol, benzidine, etc., et eau oxygénée) qui sont trop accusées, même avec l'albumen.

Sur micro-pékar également, on peut effectuer les touches colorimétriques susceptibles de déceler les traitements chimiques des farines, en suivant les tableaux de détection de P. BRUÈRE et M. MOGOS [24].

### III. — Tamisage

Le tamisage a pour but de séparer les parties grasseuses rondes et fleurantes qui existent en proportions différentes dans les farines suivant leur degré d'affleurement (1). On conçoit l'intérêt de cette opération pour l'appréciation du travail de mouture, au cours de laquelle le

(1) Expression qui désigne le pourcentage du produit recueilli sous un tamis.

blutage joue, comme nous l'avons vu, un rôle essentiel éliminateur.

Le tamisage s'effectue, pour les farines, à l'aide d'une série de tamis des n<sup>os</sup> 90, 120, 150 et 200 (1), montés sur un tambour et fermés par un couvercle. On place sur le tamis supérieur (n<sup>o</sup> 90), une prise d'essai de 50 gr. de farine et on soumet l'ensemble des tamis à des chocs répétés jusqu'à ce que le passage d'un tamis à l'échelon inférieur soit presque négligeable. En fin d'expérience, chaque refus et le passage au tamis inférieur (n<sup>o</sup> 200) sont recueillis et pesés (les résultats sont exprimés pour 100).

Le tamis n<sup>o</sup> 90 retient les sons et les remoulages provenant d'un défaut des bluteries; en principe, les farines de blé tendre ne laissent au tamis 90 qu'un refus insignifiant; on tolère 4. p. 100 pour les farines de blé dur. La présence de granulations cristallines dans le refus au n<sup>o</sup> 90 fera penser au sucre cristallisé dont la détection est facile par la coloration rose vif que donne la métaldéhyde en présence d'acide sulfurique pur et de gaïacol (réaction de DENIGÉS).

Au tamis n<sup>o</sup> 120 (5 p. 100 pour les blés tendres, 10 p. 100 pour les blés durs), on trouve les petits gruaux blancs (finots) plus ou moins piqués de débris cellulosiques.

Les farines encore un peu rondes constituent le refus du tamis n<sup>o</sup> 150. Le passage ou *affleurement* au tamis n<sup>o</sup> 200 peut atteindre 75 p. 100 avec les farines de blé tendre.

G. VAN DER LEE [106] a signalé l'influence du degré de finesse de la farine en panification. Il est certain qu'un affleurement convenable de la farine facilite le travail de la pâte au pétrin mécanique; de plus, les diastases ont alors une surface d'action plus grande; mais, pour cette raison,

(1) Les numéros des soies françaises indiquent le nombre de mailles pour 27 millimètres ou un ponce.

une finesse exagérée de la farine nuit à sa bonne conservation.

*Nota.* — Le tamisage des issues s'effectue dans les mêmes conditions que celui des farines avec les tamis n° 20 à 120. Cette opération a pour but d'apprécier si les refus aux tamis 90 et 120, ainsi que le passage à ce dernier numéro ne renferment pas de produits panifiables. On complète cet essai par la détermination, au pèse-grain, du poids à l'hectolitre, d'autant plus bas que les issues renferment moins de farine.

#### IV. — Examen microscopique

L'examen au microscope est effectué sur la farine elle-même et aux divers échelons de tamisage, soit directement en présence d'une goutte d'eau, soit à l'aide de deux indicateurs colorimétriques de CLARK : le vert de bromocrésol et la phénosafranine qui mettent en évidence les protides gluténogènes et les débris celluloseux, comme l'a signalé P. BRUÈRE [25].

Dans ce cas, on place un peu de farine sur la lamelle porte-objet et une ou deux gouttes d'une solution hydro-alcoolique à 0 gr. 05 p. 100 de vert de bromo-crésol; avec la lamelle, on fait une petite pâte que l'on additionne ensuite d'une goutte de solution de phénosafranine préparée comme celle de bromo-crésol; par le jeu de la lamelle, on homogénéise la pâte et on porte sous le microscope. Le vert de bromocrésol donne, avec les protides gluténogènes, des amas compacts bleus, tandis que la phénosafranine colore en rouge les piqûres celluloseux. Ces micro-réactions respectent l'intégralité des tissus végétaux et ne touchent pas aux lipides ni aux amidons.

L'examen des amidons présente, pour l'expert, un intérêt de premier ordre. Les grains d'amidon de blé sont arrondis, sans hile apparent; leurs dimensions varient de 15 à 50  $\mu$ ;

ceux d'orge (présence de farine de malt) ont sensiblement la même forme, mais ils sont de dimensions beaucoup plus restreintes (2 à 30  $\mu$ ) ; l'addition de farine de fèves peut être mise en évidence par la présence de grain d'amidon de légumineuses, caractéristiques par leur hile allongé, crénelé et dont l'aspect général rappelle celui d'un pain fendu.

On peut également trouver dans la farine des amidons de seigle (40 à 60  $\mu$ ) à hile étoilé, de maïs dont les grains polyédriques pourraient être confondus avec ceux de riz ; mais ceux-ci sont plus petits et généralement agglomérés (rechercher les gruaux dans les refus aux tamis n° 90 et 120).

Les amidons de pommes de terre sont volumineux (50 à 100  $\mu$ ) ovales avec couches concentriques ; ceux de manioc sont en forme de cloche et de casque.

L'attention doit également être retenue par les îlots farineux avec présence possible de mycélium et de spores de moisissures.

Enfin, l'expert peut être conduit à constater la présence d'éléments histologiques provenant de grains dénaturés par des colorants autorisés (éosine, bleu de méthylène). Dans ce cas, seule la présence de débris caractéristiques et colorés de l'enveloppe permettra de conclure dans l'affirmative, avec sécurité [26].

## CHAPITRE TROISIEME

### Analyse chimique des farines

Après avoir différencié par l'examen physique les parties constitutives d'une farine, il est nécessaire de déterminer par l'analyse chimique sa composition. On dosera :

- 1° L'humidité;
- 2° Les cendres (ce dosage étant à compléter par celui du manganèse);
- 3° Les débris cellulosiques;
- 4° Les matières grasses;
- 5° L'acidité;
- 6° Le gluten (détermination suivie, s'il y a lieu, du dosage des matières azotées totales et solubles).

Les dosages des cendres, de l'acidité et du gluten présentent un intérêt primordial pour l'appréciation du taux d'extraction, de l'état de conservation et de la valeur boulangère de la farine.

En vue de rendre les résultats comparables entre divers laboratoires, il importe essentiellement de *normaliser* [27] (1) les conditions d'exécution des analyses et l'expression des résultats (exprimés en grammes ou milligrammes pour 100 parties en poids). Pour chacun des principaux facteurs, nous indiquerons la méthode qui nous paraît devoir être suivie avec avantage pour les examens

(1) Un vœu a été adopté en ce sens au Congrès international de panification tenu à Rome en 1932, après un rapport de M. PISANI-BORG [91].

en série. Nous ferons suivre ce mode opératoire d'une interprétation analytique, d'après les résultats obtenus sur de nombreuses farines de provenances diverses. Il importe à ce sujet, de préciser que le terme « farine » sans qualificatif s'applique aux farines de blés sains, type 75 p. 100 (taux d'extraction voisin du poids à l'hectolitre), toute autre composition, imposée par décret, ne pouvant avoir qu'un caractère temporaire.

### Dosage de l'humidité

Ce dosage a pour but de déterminer l'eau d'interposition des farines et permet ainsi d'apprécier leurs possibilités de conservation.

Au cours de cette opération, il importe de ne pas toucher, par un chauffage trop poussé, à l'amidon qui tend à retenir énergiquement l'eau même à 100°. L'examen à la lumière de Wood de la farine permet de reconnaître si la déshydratation est insuffisante (fluorescence bleuâtre) ou, au contraire, s'il y a eu surchauffe (fluorescence jaunâtre) (1).

D'autre part, il y a lieu d'éviter une hydrolyse de l'amidon, hydrolyse facilitée par l'acidité de la farine (BOUDONNEAU [12]); à cet effet, il convient d'opérer en deux temps (étuve à eau et étuve à air chaud).

La nécessité de se placer toujours dans les mêmes conditions d'expérience nous a conduit à normaliser :

1° Le matériel utilisé : cristalliseur en verre, diamètre 60 mm., hauteur 30 mm., muni d'un couvercle plat à rainure pour éviter l'action de l'air pendant les pesées et d'un agitateur court destiné à assurer l'homogénéité au cours de l'opération (BRUÈRE);

(1) La farine desséchée est dans ce cas très hygrométrique.

## 2° Les conditions de dessiccation :

1<sup>er</sup> temps : séjour minimum de deux heures dans une étuve à eau bouillante (réglée à 98-100°);

2° temps : séjour de trois heures (à poursuivre, s'il y a lieu, jusqu'à poids constant), dans une étuve à air chaud réglée à 100-105°.

## MODE OPÉRATOIRE

1° Prélever par double pesée une prise d'essai de 10 g. de farine dans le système (cristalliseur avec couvercle et dessiccateur) préalablement desséché à l'étuve, refroidi à l'exsiccateur et taré.

2° Porter, pendant deux heures au moins, à l'étuve à eau bouillante et poursuivre l'opération à l'étuve à air chaud jusqu'à poids constant. Noter la perte de poids  $h$ ;

On a :  $H$  (humidité p. 100) =  $h \times 10$ .

*Nota.* — Si l'opération a été bien conduite, la farine desséchée examinée sous la lumière de Wood doit présenter une fluorescence blanche.

Cette méthode demande, au minimum, six heures; plusieurs procédés permettent d'obtenir des résultats plus rapides (1) :

a) *Etuve électrique.* — Une prise d'essai de 25 g. de farine est placée dans une nacelle et portée à 210°; on recueille l'eau distillée pendant 30 minutes exactement, on pèse et on calcule le pourcentage en effectuant les corrections nécessaires à l'aide de tables préparées à cet effet.

b) *Entraînement* de l'eau par un liquide volatil et non miscible à l'eau (LEYMARIE [79]). — La farine est chauffée dans un ballon avec du toluène (en présence de quelques billes de verre). Les vapeurs d'eau et de toluène sont condensées dans un réfrigérant à reflux et retombent dans un tube gradué

(1) Nous n'avons pas cru devoir retenir les méthodes empiriques, comme, par exemple, celle qui évalue l'humidité d'après la pression de l'acétylène dégagé d'un mélange de farine et de carbure de calcium (BLIS et HITER), abaissement du degré alcoolique, etc.

où l'eau plus dense se sépare et tombe au fond; une simple lecture donne le chiffre d'humidité.

Ces méthodes fournissent des résultats assez sensibles lorsqu'on désire rapidement le chiffre d'humidité pour effectuer certaines opérations (mesure de la plasticité des pâtes à l'extensimètre, détermination du pouvoir diastasique, etc...).

#### INTERPRÉTATION ANALYTIQUE

Le taux normal d'humidité des farines n'excède pas 15 p. 100 à partir des blés tendres et 14 p. 100 avec les blés durs. La bonne conservation en magasin est compromise au-dessus de 16 p. 100.

L'humidité des issues est légèrement inférieure (11 à 14 p. 100).

Les variations atmosphériques et surtout climatiques entraînent des écarts saisonniers pouvant aller jusqu'à 2 p. 100.

#### Dosage des cendres et du manganèse)

Le dosage des cendres exprime le taux des matières minérales de la farine et permet d'apprécier approximativement son taux d'extraction. Nous verrons que cette détermination, qui demande au moins 12 heures, est utilement complétée par un dosage colorimétrique rapide du manganèse dont nous montrerons l'intérêt par ailleurs.

Pour ces opérations, il y a lieu d'éviter une incinération trop brutale qui provoquerait la fusion des cendres et rendrait par suite difficile la disparition des points charbonneux.

Les matières minérales de la farine sont en général complètement solubles et exemptes de chlorures et sulfates.

Elles contiennent une forte proportion de phosphates avec, comme bases principales : la chaux, la potasse et la magnésie.

Leur examen direct sous la lumière de Wood ne donne aucune indication intéressante.

## MODE OPÉRATOIRE

### a) *Dosage des cendres* :

1° Prélever par double pesée cinq grammes de farine dans une capsule de platine ou, à défaut, de quartz et même de porcelaine.

2° Incinérer progressivement au moufle sans dépasser le rouge sombre, jusqu'à obtention de cendres blanches (les cendres des issues sont toujours plus ou moins grisâtres) (1).

3° Refroidir sous un exsiccateur et peser; soit, m;

on a :  $M$  (taux de cendres p. 100)  $= m \times 20$ .

*Nota.* — Il est parfois nécessaire d'exprimer ces résultats en pourcentage de produits calculés secs, notamment pour les comparer avec ceux obtenus pour le manganèse et calculés dans les mêmes conditions.

En règle générale, si  $H$  est l'humidité p. 100 et  $r$  un résultat analytique p. 100, on a :

$$R \text{ (résultat calculé sec p. 100)} = m \times \frac{r}{100 - H}$$

### b) *Dosage du manganèse* [10] :

1° Reprendre les cendres blanches par environ 10 cm<sup>3</sup> d'acide azotique pur au quart; filtrer sur tampon d'amiante de façon à recueillir directement dans le tube normalisé (2) où s'effectuera le titrage, une solution limpide et incolore.

2° Après rinçage de la capsule et du tampon d'amiante, ajouter cinq gouttes d'une solution au dixième d'azotate d'argent (qui joue le rôle de catalyseur) et un à deux deg. de per-

(1) L'addition d'azotate d'ammonium donne d'intéressants résultats pour accélérer l'obtention de cendres blanches.

(2) Normes pour tubes en verre type Pyrex : longueur 20 cm., diamètre intérieur 18 mm., avec trait de jauge à 20 cm<sup>3</sup>.

sulfate de potassium pulvérisé; chauffer doucement d'abord, puis porter à l'ébullition jusqu'à cessation de dégagement gazeux.

3° Après refroidissement, compléter à 20 cm<sup>3</sup> et effectuer le dosage colorimétrique :

a) soit à l'aide d'une gamme colorée obtenue dans les mêmes conditions avec une solution titrée de sulfate de manganèse (4 g. 054 So<sup>4</sup> Mn, 4 H<sup>2</sup>O), par litre de solution mère, à diluer au centième pour obtenir une solution dont un cm<sup>3</sup> renferme un centième de mg. de manganèse).

b) soit, plus simplement, au colorimètre (1) avec une solution de permanganate de potassium au même titre (2).

Les résultats sont exprimés en milligrammes de manganèse pour 100 grammes de farine sèche.

Ce dosage du manganèse dans les cendres est très rapide, relativement à celui des autres éléments minéraux (P, K, Na, Mg, etc...); la méthode est sensible pour un opérateur bien exercé, au centième de milligramme.

*Nota.* — Cette méthode est d'emploi plus général avec les produits de mouture que celle à la formaldoxine (réaction de Brenner, appliquée notamment par DENIGÉS, KAHANE...) qui nous a donné des résultats inconstants et peu sensibles avec les issues.

#### INTERPRÉTATION ANALYTIQUE.

Les cendres des farines de nos blés indigènes oscillent de 0 g. 40 à 0 g. 60; elles peuvent atteindre 1 g. 20 avec les blés durs exotiques (3).

Le manganèse des farines de nos blés indigènes est compris, en mouture bien conduite, entre 0 mg. 60 et 1 mg. (résultats calculés secs).

Le procédé de mouture influe, en effet, sur ces pourcen-

(1) A défaut de colorimètre Duboseq, utiliser un support comparateur constitué par deux tubes jumelés maintenus perpendiculairement dans une gaine opaque et éclairés par la partie inférieure.

(2) Solution-mère de MnO<sub>4</sub>K obtenue en diluant 100 cm<sup>3</sup> de solution décimale de MnO<sub>4</sub>K à 110 cm<sup>3</sup> avec de l'eau distillée bouillie et froide; au moment du besoin on dilue au centième.

(3) Un taux de cendres exagéré peut faire suspecter l'addition frauduleuse de matières minérales que l'on recherchera alors par l'essai au tétrachlorure de carbone.

tages. Pour un même rendement, une farine de meules contient sensiblement plus de cendres et de manganèse (20 à 30 p. 100 en plus) que la farine de cylindres; les résultats obtenus avec la farine de « Soder » sont également légèrement supérieurs à ceux de la farine de cylindres.

Dans tous les cas, les proportions de cendres et de manganèse *augmentent avec le taux d'extraction* (1). Nous avons résumé dans le tableau ci-dessous les résultats moyens correspondant à différents rendements d'une mouture par cylindres; ces chiffres n'ont d'ailleurs qu'une valeur indicative ; en effet, comme l'ont remarqué LINDET, FLEURENT et ARPIN [80], on ne peut déduire le taux d'extraction de la teneur en cendres qu'avec une approximation de 3 à 4 p. 100.

*Taux d'extraction · Teneur en cendres    Teneur en manganèse*

| ( rendement en farine<br>% kg. de blé ) | ( en gr. % de farine<br>à 16 % d'eau ) | ( en mg. %<br>de produit sec ) |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|
| 20 kg. à 40 kg.                         | 0 g. 38 à 0 g. 40                      | 0 mg. 40 à 0 mg. 43            |
| 40 kg. à 45 kg.                         | 0 g. 40 à 0 g. 41                      | 0 mg. 43 à 0 mg. 46            |
| 45 kg. à 50 kg.                         | 0 g. 41 à 0 g. 42                      | 0 mg. 46 à 0 mg. 50            |
| 50 kg. à 55 kg.                         | 0 g. 42 à 0 g. 44                      | 0 mg. 50 à 0 mg. 55            |
| 55 kg. à 60 kg.                         | 0 g. 44 à 0 g. 46                      | 0 mg. 55 à 0 mg. 58            |
| 60 kg. à 62 kg.                         | 0 g. 46 à 0 g. 47                      | 0 mg. 58 à 0 mg. 60            |
| 62 kg. à 64 kg.                         | 0 g. 47 à 0 g. 49                      | 0 mg. 60 à 0 mg. 63            |
| 64 kg. à 66 kg.                         | 0 g. 49 à 0 g. 51                      | 0 mg. 63 à 0 mg. 66            |
| 66 kg. à 68 kg.                         | 0 g. 51 à 0 g. 53                      | 0 mg. 66 à 0 mg. 71            |
| 68 kg. à 70 kg.                         | 0 g. 53 à 0 g. 56                      | 0 mg. 71 à 0 mg. 77            |
| 70 kg. à 72 kg.                         | 0 g. 56 à 0 g. 60                      | 0 mg. 77 à 0 mg. 84            |
| 72 kg. à 74 kg.                         | 0 g. 60 à 0 g. 66                      | 0 mg. 84 à 0 mg. 92            |
| 74 kg. à 76 kg.                         | 0 g. 66 à 0 g. 73                      | 0 mg. 92 à 1 mg. 00            |
| 76 kg. à 78 kg.                         | 0 g. 73 à 0 g. 80                      | 1 mg. 00 à 1 mg. 10            |
| 78 kg. à 80 kg.                         | 0 g. 80 à 0 g. 90                      | 1 mg. 10 à 1 mg. 30            |

(1) En Italie, les farines sont classées par qualité suivant leur teneur en cendres.

Deux farines A et B ayant le même taux de cendres, un pourcentage de manganèse dans A supérieur à celui dans B peut s'expliquer :

1° Par la présence dans B d'une quantité plus importante d'enveloppe externe où la proportion du manganèse dans les cendres est minimum (et alors le résultat de cellulose sera plus fort dans B).

2° Par la présence dans A d'une quantité plus importante de germe ou assise protéique où la proportion de manganèse dans les cendres est maximum (et alors le résultat de matières grasses sera plus élevé dans A).

Il semble, en effet, que les résultats de manganèse (Mn) suivent plus exactement ceux des matières grasses (G) que ceux des cendres (C) ; à cet égard, le cas des issues est typique, ainsi que le montrent les chiffres suivants (résultats p. 100 de produit sec et exprimés en grammes pour les cendres et matières grasses, en milligrammes pour le manganèse) :

| <i>Remoulages</i> |      |      | <i>Sons fins</i> |       |      | <i>Sons gros</i> |       |      |
|-------------------|------|------|------------------|-------|------|------------------|-------|------|
| C                 | Mn   | G    | C                | Mn    | G    | C                | Mn    | G    |
| 2,75              | 9,15 | 4,06 | 4,97             | 13,70 | 5,48 | 6,50             | 11,20 | 3,86 |
| 3,07              | 9,80 | 4,60 | 5,62             | 14,00 | 5,57 | 6,92             | 12,50 | 4,22 |
| 3,72              | 9,75 | 4,60 | 4,73             | 14,20 | 5,80 | 6,46             | 10,45 | 3,74 |

Le dosage du manganèse appelle quelques remarques qui mettent en relief son intérêt [28] :

1° Le manganèse, élément « oligosynergique », étant particulièrement réparti dans les régions du grain de blé les plus nutritives (germe, assise protéique), la farine aura une valeur alimentaire d'autant meilleure que son taux de manganèse sera plus élevé.

2° Les écarts entre les pourcentages de manganèse des

farines premières et ceux des farines dites basses sont généralement très accusés. Sur une même farine on trouve aux divers échelons de tamisage des différences plus sensibles pour les résultats de manganèse que pour ceux des cendres; soit, par exemple, sur une farine seconde :

| <i>Tamisage</i>    | <i>Cendres</i><br>(en gr. % de produit sec) | <i>Manganèse</i><br>(en mg. % de produit sec) |
|--------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Refus tamis n° 120 | 1,04                                        | 2,80                                          |
| — 150              | 1,03                                        | 2,50                                          |
| — 200              | 0,895                                       | 1,45                                          |
| Passage au n° 200  | 0,88                                        | 1,12                                          |

Cette sensibilité permet d'utiliser avec avantage les résultats du dosage du manganèse lorsqu'il s'agit d'apprécier, à partir d'échantillons témoins, le pourcentage suivant lequel des mélanges ont été effectués [28].

*Nota.* — Ce pourcentage T est donné (BRUÈRE) par la formule générale suivante  $T = 100 \times \frac{r'' - r}{r' - r}$ , dans laquelle  $r''$ ,  $r'$  et  $r$  désignent les résultats analytiques obtenus dans le mélange, le produit d'addition et le produit initial et tels que l'on ait toujours  $r' > r'' > r$ .

3° Le manganèse est le seul facteur permettant d'effectuer un rapprochement entre une farine étalonnée et les pains qui résultent de sa panification. Les taux des cendres, des matières grasses, et de la cellulose des farines sont en effet profondément modifiés dans les pains par l'addition du sel de l'eau de pétrissage, par la cuisson et par le fleurage (1).

Le dosage du manganèse dans les cendres de pain s'ef-

(1) On emploie généralement en boulangerie pour le fleurage des remoulages ou recoupettes, de la sciure de bois et du « corrozo ».

fectue dans les mêmes conditions que pour la farine après élimination des chlorures (décomposés par quelques gouttes d'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique étant ensuite chassé par chauffage graduel).

Nous citerons, à titre d'exemple, le cas d'expertise d'un pain complet obtenu sans mouture préalable, par éclatement du blé en milieu humide et sous pression conduisant directement à la pâte. Le taux de manganèse du blé témoin étant de 3 mg. 15 et celui du pain de 2 mg. 68, nous avons pu déceler ainsi l'addition, à la pâte de blé éclaté, d'une pâte de farine, dans la proportion minimum de 20 p. 100 (calculée suivant les taux moyens de manganèse des farines ordinaires).

De même, dans l'analyse d'un pain provenant d'une farine présentée comme contenant 5 p. 100 de germes, la proportion de manganèse montrait que le pourcentage indiqué était trop fort; ayant eu, par la suite, le produit dénommé « germes purs », nous avons pu constater au microscope qu'il s'agissait en réalité d'un mélange de germes et de farine basse.

### Dosage des débris cellulosiques

Le dosage des débris cellulosiques (1) a pour objet de déterminer la proportion des piquûres provenant de l'enveloppe et qui se trouvent toujours dans les farines, quel que soit le perfectionnement des procédés de blutage; cette détermination permet ainsi d'apprécier le travail de la mouture.

La méthode qui nous a paru donner les résultats les plus comparables est celle qui découle des travaux de MIL-

(1) On réserve l'appellation de cellulose ou de ligneux pour les résultats qui concernent les issues.

LON [86] et qui consiste, après élimination des matières grasses, à faire subir à la farine deux hydrolyses successives (la première chlorhydrique et la seconde potassique) avec filtration et lavages à l'eau chaude.

#### MODE OPÉRATOIRE

1° Introduire dans une capsule à fond plat ou de préférence dans un verre type Pyrex de 250 cm<sup>3</sup>, une prise d'essai de 10 grammes de farine.

##### *Observations :*

a) On utilise généralement la farine ayant servi au dosage des matières grasses; on effectue alors la lixiviation à l'éther dans deux tubes jumelés contenant chacun cinq grammes de farines.

b) La prise d'essai est réduite à 5 grammes pour les issues.

2° Délayer avec 100 cm<sup>3</sup> d'eau distillée et ajouter 50 cm<sup>3</sup> d'une solution d'acide chlorhydrique pur au tiers (1 vol. acide + 2 vol. d'eau).

3° Après ébullition de 45 minutes, en évitant la calcination sur les bords, jeter sur un filtre et laver à l'eau distillée bouillante.

4° Etaler le filtre sur un entonnoir et, avec un jet de pissette, remettre le résidu dans la capsule; rincer avec 100 cm<sup>3</sup> d'eau distillée et ajouter 50 cm<sup>3</sup> d'une solution de potasse caustique au vingtième (50 gr. de potasse sous le volume d'un litre).

5° Après ébullition de 45 minutes, recueillir sur filtre sans plis et laver jusqu'à neutralité.

6° Introduire le résidu dans un petit cristalliseur taré, sécher à l'étuve et noter le poids du résidu c; on a :

$$C \text{ (débris cellulosesiques p. 100)} = c \times 10$$

*Nota.* — Dans la méthode de FLEURENT (circulaire de Ministre de l'Agriculture, 20 septembre 1916), les débris cellulosesiques sont séparés par passage sur un tamis de l'amidon avec lequel ils sont entraînés lors de l'obtention du gluten; après hydrolyse par l'acide salicylique, ils sont recueillis et

pesés avec les farines, les résultats sont très largement supérieurs à ceux obtenus avec la méthode précédente; les écarts sont beaucoup plus importants s'il s'agit d'issues.

#### INTERPRÉTATION ANALYTIQUE.

Les débris cellulosiques (de même que les cendres dont ils suivent l'élévation) augmentent avec le taux d'extraction et pour un même rendement, varient avec le procédé de mouture. Pour les moutures type 75 p. 100, les résultats oscillent entre :

0 g. 25 à 0 g. 50 pour les farines de cylindres,

0 g. 50 à 0 g. 90 pour les farines de meules,

avec des chiffres intermédiaires pour les farines de soder.

Il convient de noter également, s'il y a lieu, les caractères différentiels des celluloses obtenues : opacité, transparence, finesse, etc...

En rappelant que le phosphore et le manganèse sont des indices de la valeur alimentaire de la farine, le perfectionnement des procédés de mouture doit conduire logiquement à des farines contenant un maximum de phosphore et de manganèse pour un minimum de cellulose.

#### Dosage des matières grasses

Ce dosage a pour but de déterminer la proportion des produits à caractère lipidique (glycérides, lipochromes, stérols, etc...) entraînables par les solvants des matières grasses (éther de pétrole, benzène, éther éthylique, etc...); il donne des indications sur l'origine du blé, le mode de mouture, le taux d'extraction de la farine et ses possibilités de conservation.

Pour cette opération, il importe d'obtenir un épuisement complet et d'éviter, au cours de l'évaporation du solvant,

tout passage à l'étuve qui provoquerait une perte de poids.

Il est préférable d'utiliser l'éther de pétrole et le benzène, plutôt que l'éther éthylique, pour éviter les phénomènes d'oxydation.

L'extractif obtenu présente une coloration jaune pâle plus ou moins accentuée, d'odeur agréable, avec les produits de mouture récente.

D'après E. FLEURENT [55], les matières grasses sont composées d'environ :

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| linoléine .....             | 48,2 p. 100 |
| oléine .....                | 44,8        |
| palmitine et stéarine ..... | 3,6 —       |

ce qui correspond à un indice de saponification variant de 187 à 191. Dans une étude récente, A. DANGOUMEAU [50] a identifié, dans l'extract étheré, du palmitate de sitostéryle.

#### MODE OPÉRATOIRE

1° Introduire dans un tube de verre (25 à 30 cm. de hauteur, 20 mm. de diamètre) à pointe effilée et garni à la base d'un coton hydrophile (préalablement lavé au solvant utilisé), une prise d'essai de 5 g. de farine et recouvrir d'un petit tampon de coton (1);

2° après avoir placé sur la pointe du tube un cristallisateur taré par double pesée, lixivier par le solvant; régulariser le débit en bouchant légèrement le tube, de manière que le liquide s'écoule goutte à goutte;

3° après épuisement, évaporer le solvant soit à l'air libre, à l'abri d'une flamme, soit sous la cloche à vide et noter l'augmentation de poids g du cristallisateur; on a :

$$G \text{ (matières grasses p. 100)} = g \times 20$$

#### INTERPRÉTATION ANALYTIQUE

Le taux de matières grasses est, au maximum, 1 g. 40 dans les farines de blés tendres et de 1 g. 60 dans les

(1) Lorsque le taux des matières grasses est peu élevé (ainsi que celui des débris celluloseux) on dispose deux tubes, avec 5 g. de farine chacun, au-dessus d'un seul cristallisateur; dans ce cas :  $G \% = g \times 10$ .

farines de blés durs; de même que celui des cendres, il augmente avec le taux d'extraction.

Un excès de matières grasses nuit à la bonne conservation de la farine; en effet, au cours du vieillissement, il se produit une saponification sous l'influence de la lipase, avec mise en liberté d'acides gras; par suite, l'acidité augmente, tandis que la proportion des lipides diminue. Ce phénomène est d'autant plus accentué que la farine contient une plus forte proportion d'enveloppe et de germes qui augmentent notablement le pourcentage des matières grasses et de la diastase saponifiante.

### Dosage de l'acidité

L'acidité des farines est dosée par alcalimétrie et s'exprime en milligrammes d'acide sulfurique; ce dosage permet d'apprécier le degré de maturation et l'état de conservation des farines. L'opération s'effectue sur une macération alcoolique de farine, les macérations aqueuses ne pouvant fournir de résultats certains en raison des actions diastasiques; on emploie généralement, comme indicateur de virage, le phénolphtaléine ou la teinture de curcuma.

D'après P. BRUÈRE [29], les critiques concernant l'emploi de la phénolphtaléine ne semblent pas avoir tenu compte de l'hydrolyse nécessaire au virage de cet indicateur, lequel se conduit comme un acide faible; les résultats sont comparables à ceux obtenus avec la teinture de curcuma si l'on opère en présence d'un excès d'eau; soit, par exemple, les chiffres suivants :

|                              | farine 1 <sup>re</sup> | farine 2 <sup>e</sup> | farine 3 <sup>e</sup> |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| avec curcuma (1) . . . . .   | 32                     | 53                    | 81                    |
| avec phénolphtaléine . . . . | 34                     | 55                    | 86                    |

(1) Nous préparons l'indicateur par épuisement au soxhlet de 5 g. de poudre de curcuma par le tétrachlorure de carbone; la matière colorante est ensuite reprise par 50 cm<sup>3</sup> d'alcool à 90° (solution stable).

L'emploi de la teinture de curcuma n'est d'ailleurs pas sans inconvénients; la nécessité d'opérer avec une solution alcoolique de potasse oblige à vérifier le titre de la solution avant chaque dosage, ce qui conduit à des corrections inévitables; d'autre part le virage n'est pas très net. La méthode de sécurité [29] est celle qui fait appel au prévirage du rouge de phénol en présence de phénolphthaléine, avec normalisation au  $\text{pH} = 8,2$ .

#### MODE OPÉRATOIRE

1° Mettre en contact 24 heures (1), dans un flacon bouché émeri, forme haute, 5 g. de farine et 50 cm<sup>3</sup> d'alcool à 90° sensiblement neutre. Agiter de temps en temps le flacon maintenu incliné; laisser déposer une heure avant le titrage.

2° Opérer en série, de façon à n'avoir à effectuer qu'un seul titrage étalon.

A cet effet, mesurer dans un verre à saturation : 20 cm<sup>3</sup> de l'alcool à 90° mis en expérience, 100 cm<sup>3</sup> d'eau distillée récemment bouillie, 5 gouttes de phénolphthaléine titrée à 1 g. p. 100 cm<sup>3</sup> d'alcool à 60° (solution incolore).

A l'aide d'une burette en vingtième de centimètres cubes, déterminer le nombre de gouttes de solution NaOH N/20 nécessaires pour provoquer le début de virage au rose de la phénolphthaléine. S'assurer par cinq gouttes de solution de rouge de phénol titré à 0 g. 04 pour 100 cm<sup>3</sup> d'alcool à 60° (solution jaune) qui doit virer au rose carmin dès que le pH voisin de 8,2 est atteint.

L'alcool doit être suffisamment neutralisé et l'eau aussi peu chargée que possible en gaz carbonique pour que le virage se produise avec quatre gouttes au maximum de solution alcaline.

(1) Comme l'ont remarqué M. ARPIN et Mlle PÉCAUD [3] l'acidité croît continuellement avec la durée de macération, si l'on opère le titrage en présence de phénolphthaléine; elle passe par un maximum (après 7 jours de contact) si l'on emploie comme indicateur la teinture de curcuma.

3° Mesurer dans une série de verre à saturation 10 cm<sup>3</sup> d'eau distillée, 5 gouttes de solution de phénolphtaléine et le nombre de gouttes de solution titrée nécessaire pour provoquer le prévirage de l'indicateur, qui a été déterminé dans l'opération précédente.

Dans chaque verre, ajouter 20 cm<sup>3</sup> de la macération alcoolique représentant 2 g. de farine); ce prélèvement étant effectué par décantation, en évitant toute filtration .

4° Par addition ménagée de la solution alcaline titrée, provoquer le prévirage à peine rose de la phénolphthaléine contrôlé par le virage au rose du rouge de phénol; soit n le nombre de cm<sup>3</sup> de NaOH N/20 employés; on a :

$$\text{acidité sulfurique (en mg. p. 100)} = n \times 6,125.$$

Pratiquement, on utilise la table suivante, donnant directement l'acide sulfurique en milligrammes p. 100 correspondant au nombre de vingtièmes de cm<sup>3</sup> de NaOH N/20 employés pour la prise d'essai de 2 g. de farine.

| Vingtièmes<br>de cm <sup>3</sup><br>NaOH n, 20 | Milligr.<br>p. 100<br>So <sup>4</sup> H <sup>2</sup> | Vingtièmes<br>de cm <sup>3</sup><br>NaOH n/20 | Milligr.<br>p. 100<br>So <sup>4</sup> H <sup>2</sup> | Vingtièmes<br>de cm <sup>3</sup><br>NaOH n/20 | Milligr.<br>p. 100<br>So <sup>4</sup> H <sup>2</sup> | Vingtièmes<br>de cm <sup>3</sup><br>NaOH N/20 | Milligr.<br>p. 100<br>So <sup>4</sup> H <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 2                                              | 12                                                   | 12                                            | 73                                                   | 22                                            | 134                                                  | 32                                            | 196                                                  |
| 3                                              | 18                                                   | 13                                            | 79                                                   | 23                                            | 140                                                  | 33                                            | 202                                                  |
| 4                                              | 24                                                   | 14                                            | 85                                                   | 24                                            | 147                                                  | 34                                            | 208                                                  |
| 5                                              | 30                                                   | 15                                            | 91                                                   | 25                                            | 153                                                  | 35                                            | 210                                                  |
| 6                                              | 36                                                   | 16                                            | 98                                                   | 26                                            | 159                                                  | 36                                            | 220                                                  |
| 7                                              | 42                                                   | 17                                            | 104                                                  | 27                                            | 165                                                  | 37                                            | 226                                                  |
| 8                                              | 48                                                   | 18                                            | 110                                                  | 28                                            | 171                                                  | 38                                            | 232                                                  |
| 9                                              | 55                                                   | 19                                            | 116                                                  | 29                                            | 177                                                  | 39                                            | 238                                                  |
| 10                                             | 61                                                   | 20                                            | 122                                                  | 30                                            | 183                                                  | 40                                            | 244                                                  |
| 11                                             | 67                                                   | 21                                            | 128                                                  | 31                                            | 189                                                  |                                               |                                                      |

*Nota.* — Entre chaque division, prendre la moyenne.

Ex. : 5,5 donne

$$\frac{30 + 36}{2} = 33$$

L'approximation peut atteindre trois milligrammes avec une burette donnant deux gouttes par vingtième de cm<sup>3</sup>.

### **Dosage complémentaire : acidité ionique**

On comprend généralement, par acidité des farines, l'acidité apparente dosée selon la méthode qui vient d'être indiquée; mais il est parfois intéressant de compléter ce dosage par celui de l'acidité réelle mesurée par le pH.

Rappelons succinctement que la notation pH indique la concentration en ions hydrogène (H) du milieu considéré; au point de neutralité, on a par définition  $\text{pH} = 7$ ; le pH diminue de 7 à 0 à mesure que l'acidité vraie augmente; la présence de certains sels (phosphates notamment) et de matières protéiques stabilise la réaction du milieu, propriété connue sous le nom de « tampon ».

On peut déterminer le pH des farines colorimétriquement ou électriquement sur des liquides d'extraction à l'eau distillée neutre; mais on obtient des résultats rapides et assez sensibles en opérant directement sur les farines suivant la technique de P. BRUÈRE [30]; on prépare des micro-pékars avec les farines à examiner et un amidon type neutre; on dépose sur chaque échantillon une goutte des indicateurs colorimétriques suivants, dont nous rappelons les teintes de *virage* et les indications correspondantes du pH :

|                               |           |            |     |
|-------------------------------|-----------|------------|-----|
| bleu de bromophénol .....     | jaune 3   | et bleu    | 4,6 |
| rouge de méthyle .....        | rose 4,4  | et jaune   | 6   |
| pourpre de bromocrésol .....  | jaune 5,2 | et pourpre | 6,8 |
| bleu de bromothymol (1) ..... | jaune 6   | et bleu    | 7,6 |

Dès que les gouttes sont absorbées, on immerge la plan-

(1) Le vert de bromocrésol (jaune à 3,8 et bleu à 5,2), utilisé pour les pains, donne des virages verdâtres susceptibles de compléter utilement ces indications.

chette pendant quelques secondes dans une cuvette remplie d'eau distillée aussi neutre que possible (1).

On compare les teintes obtenues avec celles de farines types en prenant comme base d'appréciation l'amidon neutre. La stabilité de ces teintes permet de conserver les disques colorés que l'on détache facilement du pékar après dessiccation.

#### INTERPRÉTATION ANALYTIQUE.

L'acidité apparente des farines de mouture récente est voisine de 25 milligrammes; elle s'élève progressivement pendant le vieillissement de la farine.

Ce phénomène résulte de l'activité de trois diastases hydrolysantes et s'accroît d'autant plus rapidement que le taux d'extraction est plus élevé et qu'un excès d'humidité, joint à une élévation de température, exercent plus fortement leur influence accélératrice.

Une première phase par maturation (3 à 4 semaines) favorable à la panification, fait apparaître l'ion diphosphate ( $\text{PO}_4\text{H}$ ) résultant du dédoublement par une phytase, de la phytine (éther phosphorique de l'inosite); une seconde phase, avec régression plus ou moins rapide de la valeur boulangère (par répercussion sur le gluten), correspond à la saponification des glycérides par une lipase; enfin, à ce stade d'altération, le gluten peut subir une protéolyse par une glutenase en donnant des acides aminés (qu'une tyrosinase peut oxyder en donnant des produits colorés en bis).

On peut suivre cette évolution par le dosage de l'acidité;

(1) Les eaux distillées de laboratoire sont fréquemment de pH inférieur à 6; on les traite rapidement par un peu de carbonate de calcium pur; le liquide filtré (qui vire au bleu de bromothymol) est mélangé, avec de l'eau non traitée, jusqu'à virage vert jaunâtre (eau préneutralisée de pH voisin de 6,8).

elle s'élève progressivement pendant la maturation jusqu'à 50 mg. avec amélioration de la valeur boulangère; au-dessus de 70 mg., il y a régression de la valeur boulangère avec diminution de la capacité d'hydratation du gluten (1).

Le dosage des acides aminés par la méthode de SORENSEN sur le liquide ayant servi à titrer l'acidité apparente ne donne un résultat appréciable que pour les farines déjà altérées.

L'indice pH des farines de mouture récente est voisin de 6-6,2. Comme l'a montré KOOPMANN [9], il croît avec la teneur en cendres de la farine c'est-à-dire avec le taux d'extraction, ce qui peut s'expliquer par les propriétés « tampons » des matières minérales. D'ailleurs la coloration d'une coupe transversale du grain de blé par le pourpre de bromocrésol (jaune pH  $\leq$  5,2 et violet pourpre à la neutralité), permet de remarquer l'augmentation de l'acidité ionique de la périphérie au centre de l'amande.

Au cours de la maturation, le pH a tendance à progresser en zone plus acide. En étudiant l'influence du pH sur les phénomènes diastasique et mécanique de la panification, nous verrons l'intérêt d'un léger abaissement du pH.

Lorsque l'optimum de maturation est dépassée (cas des farines stockées plus de six mois par le service de l'Armée), la chute du pH s'accélère et atteint des valeurs pour lesquelles une mauvaise plasticité de la pâte rend la panification défectueuse. On peut considérer comme ayant dépassé sa limite de bonne conservation toute farine ayant un pH inférieur à 5,5.

#### *Remarques :*

a) Toute diminution suspecte du pH entraînera une recherche des produits chimiques par micro-colorations [24].

(1) R. LEGENDRE [77] améliore la conservation par alcalinisation ménagée.

b) La mesure du pH a été également indiquée (P. BRUÈRE) pour la détection en série, au premier temps (alerte), des farines ypéritées ou léwisitées.

### Dosage du gluten

Le dosage du gluten a pour but de déterminer le pourcentage du complexe colloïdal de nature protéique qui se forme, lorsqu'on malaxe un pâton de farine sous un filet d'eau pour éliminer l'amidon; complété par l'appréciation des qualités physico-chimiques et de capacité d'hydratation, ce dosage est un indice important de la valeur boulangère des farines. Depuis BECCARI, qui l'a isolé en 1742, de nombreux auteurs se sont attachés à l'étude de cette opération. Citons les noms de MALOUIN qui, le premier, en 1767, a indiqué le mode d'extraction par lixiviation, celui de BALLAND [7], d'ARPIN [4], de MANGET [85], etc... Ces auteurs ont mis en relief les causes multiples susceptibles de modifier le poids de gluten humide :

a) minéralisation et température de l'eau;

b) extraction immédiate ou différée;

c) durée de lavage et conditions d'essorage, pour ne rappeler que les principales, abstraction faite par ailleurs de l'influence de l'acidité des farines anciennes ou altérées qui nuit aux conditions d'extraction.

#### MODE OPÉRATOIRE

1° *Préparation du pâton.* — Triturer au mortier 33 g. 33 de farine avec 15 à 18 cm<sup>3</sup> d'eau ordinaire, ajoutée progressivement, de façon à obtenir, après 5 min. au maximum de pistage, une masse homogène n'adhérant plus au mortier ni aux doigts.

(1) L'eau doit être à une température voisine de 16 à 18°; sa minéralisation ne doit pas dépasser 22° hydrotimétriques, avec un pH compris entre 7,6 et 8.

2° *Extraction du gluten humide.* — Malaxer immédiatement le pâton sous un filet d'eau, en évitant de diviser la masse avec les doigts. Il est nécessaire de se placer au-dessus d'un tamis n° 40, mouillé sur ses deux faces, de façon à pouvoir recueillir les parcelles de gluten susceptibles de se désagréger.

Le débit de l'eau, assez faible au début, est ensuite accéléré de façon à éliminer tout l'amidon et à laver le gluten avec, au maximum, 500 cm<sup>3</sup> de liquide, l'opération demandant 7 min.

Essorer alors le gluten à la main ou entre deux cylindres en ébonite; le placer sur une plaquette d'aluminium légèrement vaselinée et tarée; peser; le résultat multiplié par trois donne le gluten humide (gh) p. 100).

3° *Dessication.* — Placer le gluten à l'étuve à 120° jusqu'à poids constant, en ayant soin de le taillader au cours de cette dessication. Le poids obtenu multiplié par trois donne le gluten sec (gs) p. 100.

La capacité d'hydratation C du gluten se tire de la formule :

$$C = \left( \frac{gh - gs}{gh} \right) \times 100 \quad (1)$$

DE CONDÉ et HEUDEBERT (48) ont proposé la formule :

$$C = \left( \frac{gh - gs}{gs} \right) \times 100$$

qui est beaucoup plus sensible et permet d'apprécier une qualité optimum de farine pour un travail donné et suivi.

#### INTERPRÉTATION ANALYTIQUE :

Le taux de gluten sec est, au minimum, de 7 g. 5 p. 100 avec les farines de blés tendres et de 11 g. p. 100 avec les

(1) Inversement on calcule le gluten humide en fonction du gluten sec et de la capacité d'hydratation par la formule :  $gh = \frac{gs \times 100}{100 - C}$

(2) Le calcul montre que, dans le cas moyen d'un gluten *humide* triple du gluten *sec*, la première formule donne 66,66 et la seconde 200; pour écart d'une unité dans le gluten sec, les différences sont de l'ordre de 3,33 (1<sup>er</sup> cas) et 33,33 (2<sup>e</sup> cas) soit 10 fois plus fortes.

farines de blés durs. Pour un même blé le gluten s'élève à mesure que les farines proviennent des parties les plus rapprochées de l'enveloppe; d'où la nécessité de la mouture intégrale de l'albumen.

La relation moyenne de un à trois entre le gluten sec et le gluten humide correspond à une capacité d'hydratation voisine de 67 p. 100.

Une bonne panification exige un taux minimum de gluten sec de 8 gr. p. 100. La somme gluten + amidon étant constante et voisine de 80 [57], le poids de gluten doit être au moins le neuvième de celui de l'amidon.

Le dosage du gluten doit d'ailleurs être complété par l'appréciation de ses caractères physiques.

Au point de vue physico-chimique, le gluten résulte de la « peptisation », à la faveur de l'eau, de la glutenine insoluble par l'hydrosol de gliadine. E. FLEURENT [56] a signalé l'importance du rapport gliadine sur gluténine (1) dont l'optimum pour le travail de panification est voisin de trois.

L'examen physique du gluten conduit à apprécier son aspect homogène, lisse ou grenu, sa couleur blanc nacré ou jaunâtre (que l'on peut également observer sous la lumière de WOOD), son élasticité accentuée moyenne ou courte. En vue de chiffrer cette élasticité, divers appareils sont utilisés : aleuromètre Boland, farinomètre Kunis [103] et élastimètre Bruère [31] qui permet, en outre, une dessiccation rapide du gluten.

BUNGENBERG DE JONG [38] a mis en relief l'importance du point iso-électrique du complexe gliadine-glutenine;

(1) La séparation de la gliadine et de la glutenine s'effectue à l'aide d'une solution alcoolique de potasse qui dissout la gliadine et met en suspension la glutenine qu'on coagule ensuite par carbonation.

La gliadine et la glutenine sont des polypeptides contenant une forte proportion d'acide glutamique.

SARHP et GARTNER [100] ont signalé l'intérêt de la mesure du pouvoir d'imbibition et de la viscosité des glutens. Toute cette étude des propriétés colloïdales demande à être reprise scientifiquement sur les données de la chimie physique actuelle.

Nous verrons d'ailleurs que pour apprécier les qualités plastiques de la farine, il est préférable d'effectuer les essais non pas sur le gluten, mais sur la pâte.

### Dosage des matières azotées

Le dosage de l'azote total des farines s'effectue sur une prise d'essai de 0 g. 50, suivant la méthode de Kjeldahl. Le résultat (calculé p. 100) multiplié par le coefficient 6,25, donne le chiffre des matières azotées.

Le pourcentage des matières azotées des farines est voisin de 10 grammes; il augmente légèrement avec le taux d'extraction.

La matière azotée du gluten étant très différente de celle de l'enveloppe et du germe, la richesse d'une farine en azote total est loin d'exprimer sa richesse en gluten et il y a lieu de compléter le dosage de l'azote total par celui de l'azote soluble [95]. Le rapport entre l'azote total et l'azote soluble varie de 5,5 à 6; il augmente avec le taux d'extraction et diminue au cours de la maturation; s'il s'abaisse ou l'élève trop, la farine relâche et devient mauvaise.

M. JAVILLIER et DJELATIDÈS [66] étudient actuellement un fractionnement des matières protéiques de la farine suivant leur solubilité dans l'alcool neutre, l'alcool alcalin, et une solution de chlorure de sodium. Les rapports entre l'azote soluble dans ces différents solvants donneraient des indications sur la valeur boulangère des farines.

Signalons également que BRAUN [19] a repris le rapport de FLEURENT sous la forme azote gliadine sur azote gluten.

Il semble que ces renseignements ne permettent d'apprécier la valeur boulangère que dans d'assez larges limites et ne puissent remplacer les essais mécaniques des pâtes; ils ont

l'avantage, il est vrai, de ne nécessiter que des petites prises d'essais.

Il convient, d'autre part, de noter, comme le faisaient récemment encore, P. LEMOIGNE, R. DESVEAUX et P. MARGUILON [78], que la méthode de Kjeldahl, seule pratiquement utilisable, donne des résultats sensiblement inférieurs à ceux fournis par la méthode de Dumas; ces auteurs trouvent pour la farine de blé, une différence de 16 p. 100 entre les deux procédés. C'est également la conclusion d'un travail de P. ANNE [2]. Il importe donc de tenir compte de la précision de la méthode dans ces dosages si délicats des différentes formes de l'azote des farines.

### Dosage de l'amidon

Ce dosage ne présente que peu d'intérêt pour l'analyse chimique; il peut s'effectuer :

a) par des méthodes biologiques : hydrolyse diastasiques par l'amylase et dosage du maltose ou fermentation et dosage de l'alcool;

b) par des méthodes chimiques : généralement par hydrolyse chlorhydrique et dosage du glucose; on peut opérer ce dosage sur une partie aliquote de la liqueur provenant de l'hydrolyse chlorhydrique effectuée pour le dosage des débris cellulosiques.

### Répercussion du taux d'extraction sur les principaux facteurs de l'analyse chimique

Comme conclusion à ce chapitre, et pour mettre en évidence la répercussion du taux d'extraction sur la composition des farines, nous avons rassemblé dans le tableau ci-dessus les pourcentages moyens des principaux éléments :

1° d'une farine *intégrale* dont le taux d'extraction est voisin du poids à l'hectolitre;

2° de trois farines, de passage différent, d'une même mouture (type « Soder ») dites : *première*, *seconde* et *troisième*, dont le mélange, suivant les rendements partiels, conduit à la farine renfermant l'intégralité de l'albumen; ces rendements sont de 65 p. 100 pour la farine première provenant des régions centrale et moyenne de l'amande et respectivement de 8 et 2 p. 100 pour les farines seconde et troisième provenant de la zone périphérique de l'albumen (la farine troisième contient en outre quelques particules d'enveloppe interne ou remoulages).

| <i>Nature des farines<br/>et taux d'extraction</i> | Intégrale<br>75 % | Première<br>65 % | Seconde<br>8 % | Troisième<br>2 % |
|----------------------------------------------------|-------------------|------------------|----------------|------------------|
| Humidité .....                                     | 13,80             | 13,90            | 13,80          | 12,60            |
| Cendres .....                                      | 0,65              | 0,55             | 0,95           | 2,65             |
| Manganèse (en mg).....                             | 0,75              | 0,60             | 1,40           | 3,00             |
| Matières grasses .....                             | 1,40              | 1,30             | 1,90           | 3,10             |
| Débris cellulósiques .....                         | 0,28              | 0,24             | 0,40           | 1,30             |
| Acidité sulfurique (mg) ..                         | 42                | 39               | 45             | 82               |
| Gluten humide .....                                | 28,90             | 29,00            | 32,10          | 23,10            |
| — sec .....                                        | 10,10             | 9,90             | 11,50          | 12,70            |
| Capacité d'hydratation ..                          | 64,90             | 66,20            | 64,10          | 45,00            |

L'examen de ces chiffres fait ressortir le déséquilibre des farines ne contenant pas l'intégralité de l'albumen. L'abaissement du taux d'extraction, obtenu en éliminant les gruaux provenant de la partie périphérique de l'albumen, conduit à des farines amylacées à l'excès et dépourvues d'une grande partie des matières minérales et des protides gluténogènes du grain de blé.

## CHAPITRE QUATRIEME

### Contingent glucidique et pouvoir diastasique des farines

Avant d'aborder l'étude des phénomènes diastasiques des farines, il est intéressant de noter les observations faites sur le grain de blé, soit en période de formation, soit en période de germination; nous y trouverons l'explication et l'origine des réactions diastasiques rencontrées dans les farines. En vue d'évaluer ces actions dans les pâtes, il importe de se placer dans des conditions aussi voisines que possible de celle de la panification; cette étude du pouvoir diastasiique dans les pâtes et celle du stock glucidique préexistant dans les farines nous permettront de préciser l'intérêt de la détermination du pouvoir diastasiique des farines, comme facteur d'appréciation de leur valeur boulangère.

#### I. — Physiologie du grain de blé

Le germe constitue la partie active du grain, particulièrement dans la période de germination. Il contient en forte proportion, localisé dans le scutellum, les principes solubles que MÈGE-MOURIES a groupés sous le nom de « céréaline » :

a) *diastase* de PAYEN et PERSOZ (association d'amylase,

de dextrinase et de maltase) qui transforme l'amidon en dextrine puis en maltose;

b) *gluténase* qui peptonise les matières protéiques jusqu'au terme acides-aminés;

c) *tyrosinase* qui oxyde la tyrosine pour donner un produit coloré brun-noir;

d) *phytase* qui dédouble la phytine;

e) *cytase* ou cellulase qui concourt à l'hydrolyse de la cellulose et permet ainsi à l'amylase qui n'est pas dialysable d'agir sur l'amidon.

L'*amylase* joue un rôle important, lors de la formation de l'embryon; elle disparaît incomplètement pendant la maturation du grain, mais la petite quantité qui subsiste alors ne paraît pas être de même nature.

A une diversité d'origine, correspondrait une différence de propriétés : la diastase de germination étant beaucoup plus active et capable de désagréger complètement l'amidon cru, tandis que, dans le grain mûr, non germé, l'amylase ne saccharifierait que l'amidon soluble.

Les travaux de LEPLAY, A. GIRARD, BROWN et MORRIS [20] ont montré que chez les graminées il se forme, au début de la végétation, du sucre réducteur et seulement un peu de saccharose. Au moment de l'apparition des organes de reproduction, la proportion de saccharose augmente considérablement, et il se forme une fructoholoside (lévulane (1) : la lévosiine de TANRET [102], que l'on retrouvera dans le grain à toutes les phases de son développement. Ces sucres s'accumulent dans la tige, jusqu'au moment où le grain commence à se manifester dans l'épi; son enveloppe souple et résistante se laisse alors traverser avec la

(1) A pouvoir rotatoire voisin de celui de l'inuline  $[\alpha] = -36^\circ$ .

plus grande facilité par l'eau intérieure, en retenant à la façon d'un dialyseur tous les produits en dissolution.

A mesure que la maturité s'avance, le grain s'enrichit en amidon, tandis que les matières sucrées diminuent. Comme le font remarquer COLIN et BELVAL [46], il n'est pas possible de saisir la synthèse de l'amidon, les dextrines ne se rencontrant pas en quantité appréciable. Le saccharose et la levosine de TANRET paraissent donc être la matière génératrice directe de l'amidon.

Inversement, pendant la germination, à mesure que l'amidon disparaît, il se forme, sous l'influence de l'amylase, du maltose (et aussi, d'après LINDET, un peu de saccharose).

On peut donc schématiser ainsi le cycle saccharogène :

saccharose et lévosine (*grain en formation*)

amidon (*grain mûr*)

maltose (*grain en germination*)

Théoriquement, le grain de blé sain semblerait donc ne pas devoir posséder un indice de cuivre mesurable avant et après hydrolyse. Toutefois, le blé tel qu'il se présente pratiquement à la mouture est susceptible de renfermer, suivant les conditions de la récolte ou de la conservation, une proportion parfois notable de grains de maturité insuffisante ou ayant subi une prégermination. Il en résulte que l'appréciation du stock glucidique initial du grain de blé a donné lieu à des divergences entre les auteurs.

Cependant SCHULTZE et FRANKFURT [99] ont montré par une méthode sûre (1) la présence de saccharose. Ces au-

(1) D'un extrait alcoolique de la graine, ces auteurs précipitent le sucre à l'état de combinaison strontianique; ils décomposent le sucrate insoluble par l'acide carbonique et font cristalliser dans l'alcool un sucre dont les propriétés correspondent à celles du saccharose.

teurs ont également isolé un autre sucre fermentescible : le raffinose, déjà signalé par RICHARSON, CRAMPTON et O'SULLIVAN [90]; H. COLLIN et H. BELVAL [47] ont confirmé la présence de ce trioside dans le germe.

D'autre part, la recherche des sucres directement réducteurs dans le grain de blé stabilisé par immersion dans l'alcool bouillant a conduit à des résultats positifs. On ignore exactement sous quelle forme se trouvent ses glucides; il s'agit, sans doute, de glucose accompagné d'une petite quantité de fructose et de maltose.

Nous avons dosé les sucres réducteurs dans des blés indigènes bien mûrs, mais ne présentant aucune trace de germination. Le blé est trié à la main de façon à ne conserver que des grains absolument sains; 57 g. de ce blé (soit 50 g. de matière sèche) sont jetés dans l'alcool à 90° bouillant; après 20 minutes d'ébullition sous réfrigérant à reflux, les grains sont retirés, séchés et broyés; on les traite à nouveau par 100 cm<sup>3</sup> d'alcool à 60°. Les liqueurs alcooliques séparées du marc sont réunies, puis distillées, de manière à obtenir 50 cm<sup>3</sup> de liquide que l'on défèque au sous-acétate de plomb ou par agitation avec du charbon animal. Le liquide filtré donne une solution claire et limpide sur laquelle on peut titrer directement les sucres par la liqueur cuprosodique. Nous avons obtenu ainsi 0 g. 04 de glucose p. 100 de matière sèche. Le saccharose est dosé sur une partie de la liqueur précédente par hydrolyse à l'invertine, suivant la méthode de BOURQUELOT [15] (remplacer le thymol dans la solution d'invertine par du sulfate d'ortho-oxyquinoléine, comme le conseille J. LEBOUCC [74]). Nous avons trouvé ainsi 0 gr. 35 de saccharose p. 100 de produit sec; on obtient des chiffres supérieurs en opérant sur les grains mûrs aussitôt après la récolte; BALLAND [7] a montré, en effet, que le sucre continue à se transformer dans l'épi qui vient d'être coupé.

## II. — Stock glucidique de la farine <sup>(1)</sup>

Voulant étudier l'influence de la mouture, nous avons extrait au moulin de laboratoire la farine du blé sur lequel nous avons effectué les dosages précédents. L'extraction est faite au taux de 50 p. 100. Aussitôt après mouture, 20 g. de farine ont été stabilisés par l'alcool à 90° sous réfrigérant à reflux, pendant environ 10 min., pour éviter toute modification ultérieure du contingent glucidique. La farine est ensuite épuisée par l'alcool à 60°; les liqueurs alcooliques réunies sont distillées et l'extrait huileux repris par l'eau, filtré et défécué. Sur le filtrat les sucres ont été dosés directement par la liqueur cupro alcaline. Les résultats exprimés en glucose indiquent un taux de 0 g. 077 pour 100 g. de farine calculée sèche.

Il semble donc que le seul fait de la mouture, véritable traumatisme, amorce les réactions diastasiques et augmente sensiblement (double dans notre exemple) le pourcentage de sucre réducteur libre préexistant dans le blé. Il est évident que cette augmentation sera plus ou moins grande suivant l'état du blé et les conditions de la mouture (mouillage, conditionnement, échauffement, etc...).

Nous avons renouvelé ces dosages sur un grand nombre de farines de composition et de provenance diverses. La proportion de sucre réducteur pour 100 g. de matière sèche oscille entre 0 g. 07 et 0 g. 11 en glucose, soit 0 g. 12 à 0 g. 25 en maltose. Il s'agit ici de farines provenant de blés sains; à partir de blés germés on peut trouver, en effet, des chiffres bien supérieurs; c'est ainsi que dans une farine extraite au moulin de laboratoire d'un blé contenant 5 p. 100

(1) La question du contingent glucidique des farines a été particulièrement étudiée par P. BRUÈRE et J. RABATÉ [32], A. de CUGNAC [49], A. DANGOUMEAU [51] et R. GEOFFROY [59].

de grains germés nous avons trouvé 0 g. 50 p. 100 de maltose.

Le taux d'extraction n'influe pas sur le pourcentage de glucose préexistant, les issues contenant une proportion de sucre réducteur voisine de celle des farines.

Pendant la maturation, les sucres réducteurs tendent à augmenter. Cette augmentation, assez faible si les conditions de conservation sont satisfaisantes, peut devenir très sensible si une humidité et une température plus élevées favorisent les actions diastasiques.

Le saccharose existe également dans la farine. LANE et EYNON [72] nous ont laissé une méthode de dosage. Ces auteurs préparent un extrait de farine par macération aqueuse (30 min. à 20°). Le filtrat additionné de 2 p. 100 d'acide chlorhydrique au quart est porté à l'ébullition pendant une minute exactement. Après neutralisation le sucre interverti est dosé par la liqueur cupro-sodique. On retranche du résultat obtenu le sucre directement réducteur dosé sur une autre partie de l'extrait. Par ce procédé, RUTNER et BERLINER [97] ont trouvé 1 g. 5 et même 2 g. p. 100 de saccharose dans la farine. Ces teneurs paraissent trop élevées. La méthode n'est d'ailleurs pas à l'abri de toute critique; la macération peut dissoudre des matières amylacées plus ou moins dégradées en dextrines, de la levosine et l'action de l'acide à l'ébullition, si courte soit-elle, peut toucher à ces produits; l'hydrolyse par l'invertine nous a donc paru préférable. (1)

Nous avons trouvé ainsi de 0 g. 20 à 0 g. 25 de saccharose pour 100 g. de farine, chiffres assez voisins de ceux obtenus.

(1) L'invertine est préparée à partir de levure de boulanger fraîche (les levures anciennes pouvant contenir un peu d'amylase); la levure est délayée dans un peu d'eau, essorée et reprise par 7 à 8 fois son poids d'alcool à 90°; après 12 à 15 heures de contact, onessore à nouveau sur filtre Buehmer, on lave à l'alcool-éther, on sèche à l'étuve à 35° et on fait une solution à 1 p. 100 dans l'eau distillée contenant 1 p. 100 de sulfate d'ortho-oxyquinoléine (quinosol).

nus par A. de CUGNAC [49] qui opère également l'hydrolyse par la sucrase.

Cette proportion peut augmenter avec le taux d'extraction; en effet, comme l'avaient déjà remarqué BERLINER et RUTNER, l'amande farineuse est très pauvre en saccharose, celui-ci étant plutôt introduit par les parties périphériques du grain; (dans les sons on trouve en moyenne 1 g. 5 p. 100 de saccharose).

D'après GUILLEMET, C. SCHELL et P. LE FUR [64], les farines ne contiennent pratiquement pas de raffinose.

Si l'on dresse maintenant le bilan des glucides actifs de la farine, comprenant sous ce terme l'ensemble des sucres susceptibles de concourir à la levée de la pâte, le contingent glucidique apparaît assez faible. Il existe en moyenne dans nos farines de blés indigènes :

|            |       |                |                                                                             |
|------------|-------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Saccharose | ....  | 0 g. 20 p. 100 | { soit environ 0 g. 30 p.<br>100 de sucre fermentes-<br>cible (en glucose). |
| Glucose    | ..... | 0 g. 10 p. 100 |                                                                             |

Il y a longtemps déjà que DUMAS, puis A. GIRARD, ont montré qu'il ne fallait à la levure que relativement peu de sucre pour faire lever la pâte; mais il est évident que le sucre préexistant dans la farine est insuffisant pour produire un volume convenable de gaz carbonique. La levée normale des pâtes, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des matières sucrées, montre que des phénomènes diastasiques s'exercent naturellement au cours de la panification.

### III. — Mise en évidence des phénomènes diastasiques dans les farines et lois générales auxquelles ils sont soumis.

20 grammes de farine sont délayés dans 100 cm<sup>3</sup> d'eau; après une heure de contact à 20°, on filtre. Dans le filtrat clair, réduisant le réactif cupro-alcalin, la quantité de su-

crs réducteurs, évalués en maltose par la méthode de BERTRAND, est de 1 g. 50 p. 100. Si on renouvelle l'expérience dans les mêmes conditions de concentration et de température, mais en prolongeant à 6 h. la durée de macération, on trouve alors 6 g. 30 p. 100 de maltose; ainsi la présence d'eau déclenche dans la farine des phénomènes diastasiques qui aboutissent à la formation d'un sucre réducteur fermentescible, la quantité de sucre formé dépendant de la durée de macération; quant à sa nature, l'essai aux osazones montre qu'il s'agit surtout de maltose.

J. LOEB [83] a essayé d'appliquer au cas des diastases des farines, les lois générales des catalyseurs. Une première question d'ordre pratique se posait : l'arrêt des actions diastasiques. Il fallait une méthode ne modifiant pas sensiblement la nature des diverses substances de la farine. Les procédés purement physiques ne sauraient convenir ici; le procédé à l'alcool bouillant employé pour le blé devient d'application plus délicate dans le cas des farines et est assez long pour les dosages en série; il présente avec les pâtes des difficultés d'expérimentation qui le rendent peu recommandable.

LOEB utilisa d'abord la méthode de RUMSEY [96] qui arrête la saccharification diastatique en alcalinisant fortement le milieu; le dosage des sucres est effectué selon la méthode de G. BERTRAND, tout dosage polarimétrique se révélant imprécis dans un milieu qui contient des substances hydrocarbonées et azotées douces parfois aussi de propriétés actives sur la lumière polarisée. R. GUILLEMET et C. SHELL [63] ont préconisé un dosage du maltose formé, suivant la technique de FONTÈS et THIVOLLE, après défécation tungstique sur des prises d'essai réduites; les résultats obtenus sont d'ailleurs sensiblement identiques à ceux fournis par la méthode de BERTRAND qui présente l'avantage d'une plus grande rapidité.

LOEB commença l'étude systématique des phénomènes diastasiques par celle de l'influence de la *réaction du milieu*. Il fit de nombreux essais sur une même farine dans les mêmes conditions de concentration, de température et de durée de macération, mais en faisant varier le pH du milieu (de 0,85 à 9,55).

En portant en abscisse les pH mesurés sur les liqueurs et en ordonnée le pourcentage de maltose correspondant, il établit la courbe originale ci-dessous (fig. 2), dont l'étude devait être fort instructive. Dans la région alcaline, la saccharification diastasique est nulle au-dessus de pH 8,5. En zone acide, l'activité diastasique croît régulièrement au-dessous de pH 7 jusqu'au pH 5 où elle est optima. Alors la courbe s'infléchit, descend rapidement et révèle l'existence en zone franchement acide d'un deuxième point d'arrêt de la saccharification au pH 3. Nous n'avons plus à faire ici à un zéro absolu, mais passager. En effet, au-dessous de pH 2,7, la saccharification reprend, mais les diastases ayant été détruites, il s'agit alors d'une saccharification acide qui est sensible dès la température ordinaire.

Nous avons vérifié cet arrêt de l'activité diastasique au pH 2,7 - 3.

Dans de nombreux essais, nous avons constaté que la saccharification sensiblement nulle dans les suspensions de farines au pH 3, l'est pratiquement dans les pâtes (augmentation du taux de maltose inférieure à 2 p. 100 en 6 heures). Il semble bien, d'autre part, que les diastases soient presque entièrement détruites; si, en effet, après un quart d'heure de repos au pH 3 on neutralise l'acidité, les dosages effectués aussitôt après neutralisation et au bout d'une heure donnent des chiffres voisins (différence inférieure à 1 p. 100).

De cette étude on peut tirer des conclusions pratiques. Nous connaissons maintenant la quantité de soude mini-

ma (il suffit d'amener le milieu au pH 5) nécessaire pour arrêter les actions diastases. Mais le peu de réactif basique, de quelque nature qu'il soit, suffit pour mettre en dissolution une quantité appréciable de matières azotées, en particulier de gluten, qui communique une viscosité et une opacité à la solution, ce qui retarde les filtrations et gêne le dosage du sucre au Fehling. Il est donc intéres-

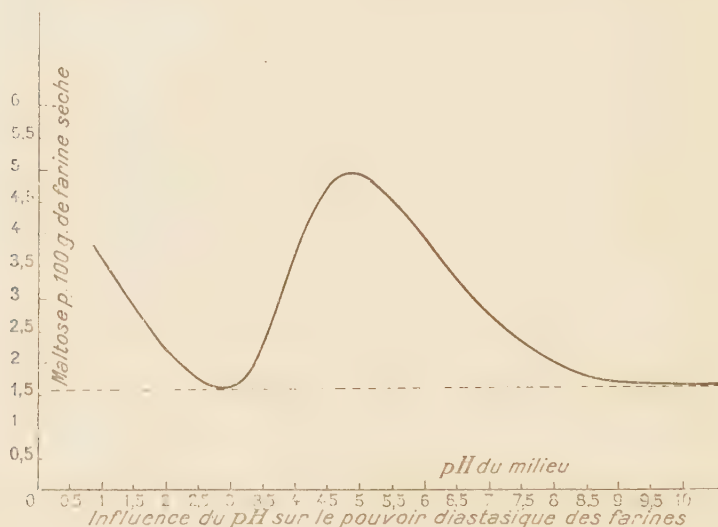


FIG. 2. — Courbe indiquant l'influence de la réaction du milieu sur la saccharification diastase.

Durée de la saccharification :

1 heure sans réactif (1 g. 5 de maltose formé); puis, 5 heures avec réactif, en quantité nécessaire pour amener le milieu au pH voulu.

sant de profiter du point d'arrêt en zone acide et il *suffira d'acidifier la suspension de farine au pH 3 pour arrêter la saccharification.*

L'influence de la *température* sur l'activité diastase devait également être signalée. La courbe obtenue en portant les températures en abscisse et les pourcentages de sucre formé en ordonnée montre que la température active la saccharification. Les écarts sont d'abord relativement faibles (1 g. 50 à 20° pour 2 g. à 27° et 2 g. 75 à 35°), mais à

partir de 45°, la courbe commence une montée vertigineuse pour s'arrêter très brutalement à 62°5 (optimum) et descendre avec la même rapidité; au-dessus de 70°, les essais ne peuvent pas être poursuivis.

Enfin, le facteur *concentration* joue également un rôle important. Les écarts des résultats sont insignifiants aux grandes dilutions; mais ils sont très sensibles entre les suspensions et les pâtes et comme l'ont montré GUILLEMET et SCHELL [63], l'allure des courbes de saccharification est alors totalement différente. Toutefois, à partir d'une certaine concentration, les chiffres obtenus sont assez voisins; ainsi, les résultats sont très peu différents si l'on opère avec une pâte à 53 p. 100 d'eau, au lieu de 47 p. 100, humidité normale des pâtes en boulangerie.

#### IV. — Détermination du pouvoir diastasique des farines

##### PRINCIPE

Pour déterminer le pouvoir diastasique des farines, on a d'abord pensé à employer les méthodes générales d'essai des ferments solubles amylolytiques (tel la diastase du Codex) en faisant agir la substance ou un essai concentré sur un empois d'amidon type. Voici, à titre d'exemple, comment opérait LINTNER [81] : on fait macérer 25 g. de farine dans 500 cm<sup>3</sup>. d'eau pendant 6 heures; on filtre; on place dans 10 tubes à essai 10 cm<sup>3</sup> d'une solution d'amidon à 2 p. 100 et on ajoute dans les tubes 0,1 à 1 cm<sup>3</sup> de filtrat. Après une heure de repos, on additionne chaque tube de 5 cm<sup>3</sup> de liqueur de Fehling et on place le tout au bain-marie bouillant pendant 10 minutes. La réduction complète dans le verre au Fehling complètement décoloré indique la valeur diastasique de la farine.

De telles méthodes, dont les conditions d'essai sont trop éloignées de celles de la fermentation panaire, ne sauraient donner une idée exacte de la valeur fermentative des farines. La saccharification de l'empois est à rejeter; en boulangerie, les diastases devront agir non pas sur de l'amidon cuit mais cru et de structure variable suivant les espèces de blés; d'autre part, la température d'action ne dépasse jamais 30°. Il était donc préférable de se rapprocher des conditions normales de la fermentation panaire.

Nous définirons le pouvoir diastasique d'une farine par son « *indice de maltose* », c'est-à-dire par la quantité de sucre réducteur, évalué en maltose pour 100 g. de farine sèche, formé :

1° aux dépens du propre amidon de la farine à étudier, amidon plus ou moins dégradé en dextrines;

2° à une température bien définie et constante représentant la moyenne des températures auxquelles on soumet les pâtes à la fermentation panaire. MOHS et FORMOT conseillent 34°-35°, RUMSAY, JONES et SAXBY préconisent 27°; c'est également d'après LOEB la température normale de la pâte en fermentation;

3° à une concentration bien déterminée. En boulangerie, les pâtes ont une humidité moyenne de 47 p. 100 (1). Dans nos essais, une telle concentration présente quelques inconvénients : l'arrêt de la saccharification diastasique n'est pas instantanée comme dans une suspension, l'homogénéisation du milieu étant plus longue et plus difficile après l'addition de l'acide nécessaire pour amener la pâte au pH 3; d'autre part, des fractions de pâte adhèrent après

|                         |                                                                    |                 |                                                                   |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------|
| (1) Pâte obtenue avec : | { Farine 75 kg.<br>à 15 p. 100<br>d'eau<br>Eau de pétrissage ..... | constitué par : | { Matière sèche .... 63 kg. 750<br>Eau ..... 11 kg. 250<br>45 kg. |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------|

— soit 120 kg de pâte renfermant 56 kg 250 d'eau, ce qui correspond à un pourcentage maximum d'humidité de 47 p. 100.

les parois du verre se dessèchent facilement et ne participent plus aux réactions. LOEB ayant montré, comme nous l'avons vu, que les résultats étaient sensiblement identiques avec des pâtes à 47 p. 100 et 53 p. 100 d'eau, il est préférable d'opérer à cette dernière concentration;

4° dans un milieu de réaction normale qui est celui de la farine mise en expérience. Nous utilisons pour préparer les pâtes une solution aqueuse de chlorure de sodium à 25 g. par litre. Si l'emploi du sel a pour but principal de rendre le pain plus savoureux à la consommation, il n'en est pas moins vrai qu'il exerce une influence très sensible sur les actions diastasiques au cours de la fermentation et les boulangers connaissent bien son effet ralentisseur. D'autre part, DANGOUMEAU et CUVIER [52] ont mis en relief l'influence des eaux (1) sur la fermentation panaire et les diastases spécifiques d'une farine de froment. Pour opérer toujours dans les mêmes conditions, nous vérifierons la neutralité de la solution salée (virage au vert du bleu de bromothymol);

5° pendant un laps de temps qui correspond à l'ensemble des opérations qui précèdent la cuisson. Pour suivre de près l'allure de la saccharification, nous doserons le sucre formé après 1/2 h., 1 h., 2 h., ...6 h. L'arrêt de la saccharification diastasique sera obtenu en acidifiant la pâte à pH 2,7 - 3.

## MODE OPÉRATOIRE

1° Tarer un verre à saturation de 125 cm<sup>3</sup> avec un thermomètre qui servira en outre d'agitateur.

(1) DANGOUMEAU et CUVIER ont étudié l'influence des eaux minérales sur la panification. Il serait intéressant d'examiner dans le même ordre d'idée les répercussions de l'eau javellisée.

2° Peser directement dans ce récipient une quantité de farine correspondant à 20 g. de produit sec (1).

3° Faire une pâte homogène avec 20 cm<sup>3</sup> d'eau salée à 25 g. par litre. Deux précautions sont alors à observer :

a) la solution de chlorure de sodium doit être sensiblement neutre (contrôler par le virage au vert du bleu de bromothymol);

b) l'eau doit avoir pratiquement 30° environ, de façon à ce que le système (matériel + pâte) soit à la température de + 27°.

4° Maintenir le système dans une étuve réglée à + 27° en le recouvrant par un verre renversé pour éviter une dessiccation superficielle de la pâte.

5° Réaliser, s'il y a lieu, plusieurs systèmes identiques, de façon à obtenir les résultats au bout d'un temps donné (1/2 h., 1 h., 2 h., etc...).

6° Provoquer l'arrêt diastasique au moment voulu par l'addition mesurée de 10 cm<sup>3</sup> d'acide sulfurique N/5 qui, dans les conditions normales, acidifient la pâte au pH 2,7 à 3.

Après répartition *bien homogène dans la masse* (2), une touche sur porcelaine avec une goutte de bleu de bromophénol doit virer au jaune, sans qu'une seconde touche au bleu de thymol vire au rose.

7° Après un contact de 15 min. environ, neutraliser exactement l'acide ajouté par de l'eau de baryte saturée (3), qui élimine le réactif sous forme insoluble et ramenant la réaction

(1) Soit  $p = \frac{100+h}{5}$ , h représentant l'humidité de la farine ; on aura donc pour une farine à 15 p. 100 d'eau :

$$p = \frac{100+15}{5} = 23 \text{ g.}$$

(2) Il importe d'avoir une suspension bien homogène, ce qui peut demander 1 ou 2 min. avec les pâtes mises en expériences pendant 2 ou 3 heures. La masse pâteuse étant élastique et le gluten ayant tendance à se séparer de l'amidon sous forme de grumeaux plus ou moins gros.

(3) La solution de baryte est préparée en dissolvant de la baryte au frais dans un récipient de 2 litres. On laisse reposer quelques jours et on décante la solution claire dans un flacon de 1 litre bien bouché. Le titre doit être vérifié de temps en temps. Le titrage s'effectue en présence de phénolphthaléine, le précipité de SO<sup>4</sup> Ba ne gênant pas le virage au rose. Pour éviter sa carbonation pendant le dosage il est préférable de placer la solution de baryte dans la burette.

du milieu à sa valeur initiale entraîne la précipitation de l'azote qui aurait pu se mettre en dissolution par l'acide. Cette défécation donne des résultats aussi satisfaisants que l'emploi du tungstène.

8° Compléter par pesée à un volume constant de 100 cm<sup>3</sup>, soit pratiquement en ajoutant de l'eau distillée pour obtenir 121 g. Nous avons, en effet :

|                                                 |        |
|-------------------------------------------------|--------|
| eau pour 100 cm <sup>3</sup> .....              | 100 g. |
| farine produit sec .....                        | 20 g.  |
| minéralisation (Cl Na, So <sup>4</sup> Ba)..... | 1 g.   |

Total ..... 121 g.

9° Séparer, par filtration ou centrifugation, une solution claire sur laquelle on dose les sucres par la méthode de G. BERTRAND. Les résultats sont exprimés en maltose et calculés pour 100 grammes de farine sèche.

*Nota.* — On peut également employer cette méthode pour doser le sucre préexistant dans la farine. Mais il est alors indispensable d'ajouter à la farine l'acide sulfurique N/5 avant l'eau, si l'on veut éviter toute néo-formation de sucre diastasique; les chiffres obtenus sont très légèrement supérieurs à ceux trouvés par la méthode à l'alcool bouillant.

## RÉSULTATS

Nous avons eu l'occasion d'étalonner au point de vue diastasique de nombreuses farines de composition et d'origine diverses. Nous avons rassemblé dans le tableau ci-dessous quelques résultats caractéristiques :

| Origine<br>des blés | Maltose<br>préexistant | Pourcentage de maltose en gr. fermé après |      |      |      |      |      |
|---------------------|------------------------|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                     |                        | 1/2 h.                                    | 1 h. | 2 h. | 3 h. | 5 h. | 6 h. |
| 1 Aube .....        | 0,14                   | 0,59                                      | 0,89 | 1,26 | 1,48 | 1,81 | 1,92 |
| 2 Région parisienne | 0,15                   | 0,65                                      | 0,95 | 1,35 | 1,56 | 1,88 | 2,00 |
| 3 Marne .....       | 0,19                   | 0,72                                      | 1,10 | 1,50 | 1,74 | 2,00 | 2,08 |
| 4 Alsace .....      | 0,22                   | 0,75                                      | 1,22 | 1,61 | 1,82 | 2,09 | 2,18 |
| 5 Région parisienne | 0,20                   | 0,80                                      | 1,27 | 1,68 | 1,86 | 2,04 | 2,12 |
| 6 Algérie .....     | 0,17                   | 0,82                                      | 1,30 | 1,73 | 1,93 | 2,19 | 2,26 |
| 6 bis Meuse .....   | 0,18                   | 0,84                                      | 1,32 | 1,70 | 1,84 | 2,08 | 2,20 |
| 7 Région parisienne | 0,24                   | 0,92                                      | 1,38 | 1,81 | 2,02 | 2,29 | 2,41 |

L'acidité de ces farines (toutes de type « Soder ») variait entre 35 et 50 mg.  $\text{SO}_4^{+} \text{H}^2$ . Seule la dernière avait une forte acidité (68 mg.) qui laissait supposer un début d'altération; cette acidité entraînant un abaissement du pH vers l'optimum (pH 5) explique son pouvoir diastasique relativement élevé.

En portant les temps en abscisse et les pourcentages en ordonnées, on peut établir des graphiques représentatifs; on trouvera ci-dessous les courbes concernant les farines n° 1, 4 et 7 et une courbe type (fig. 3). On voit ainsi l'allure générale du phénomène : formation très rapide de sucre au début, la vitesse de saccharification diminuant sensiblement après la première heure, ce qui se traduit par un aplatissement de la courbe. Outre l'influence du rapport des masses actives, rapport variant obligatoirement au fur et à mesure de l'accumulation du sucre, il faut voir l'explication de l'allure du graphique dans la présence dans la farine de produits amylacés solubles non réducteurs (levosine, dextrines) aux dépens desquels se fait d'abord une saccharification facile; lorsque cette production de dextrine est épuisée, les diastases doivent s'attaquer à l'amidon moins dégradé, travail beaucoup plus difficile et qui ralentit l'intensité de la saccharification.

D'après les travaux de LOEB, il y aurait attaque réelle de l'amidon globulaire. Ce fait avait été mis en doute par BOUTROUX [16], qui ayant dosé l'amidon, avant et après la fermentation, n'avait trouvé qu'une différence de 1,36 p. 100. Mais, après avoir montré la faible teneur des farines en dextrines, LOEB admet « sans doute possible » qu'il y a corrosion de l'amidon globulaire par les diastases, corrosion d'ailleurs strictement périphérique et se limitant à l'amylopectine.

Nous avons vu l'importance, au point de vue diastasi-que, de l'assise protéique appelée encore assise à diastase.

Il faut donc s'attendre à trouver un pouvoir diastasique plus élevé pour les farines contenant quelques particules périphériques du grain de blé. C'est, en effet, ce que confirme l'expérience. Voici, à titre d'exemple, les pouvoirs

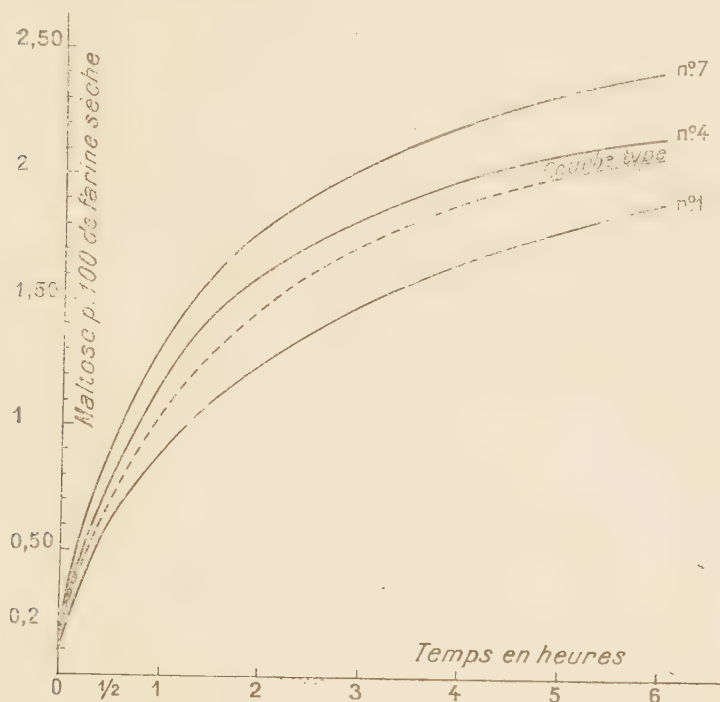


FIG. 3. — Courbes représentatives du pouvoir diastasique de farines de froment.

diastasiques de trois farines de passage différent, prélevées dans une même mouture. Nous ajoutons les résultats trouvés pour la farine intégrale obtenue en mélangeant les trois précédentes suivant les rendements partiels :

| Farines         | Taux<br>d'extraction | Pourcentage de maltose<br>en grs formé après : |      |      |      |
|-----------------|----------------------|------------------------------------------------|------|------|------|
|                 |                      | 1 h.                                           | 2 h. | 3 h. | 4 h  |
| Première .....  | 65 p. 100            | 1,05                                           | 1,42 | 1,67 | 1,78 |
| Seconde .....   | 8 p. 100             | 1,29                                           | 1,68 | 1,96 | 2,07 |
| Troisième ..... | 2 p. 100             | 1,56                                           | 2,12 | 2,42 | 2,58 |
| Intégrale ..... | 75 p. 100            | 1,12                                           | 1,50 | 1,76 | 1,86 |

Ainsi, les farines trop blutées, à taux d'extraction exagérément bas, sont déséquilibrées au point de vue diastasique. C'est ce qui explique la valeur des procédés Humphries qui consistent à ajouter à la farine des extraits de sons. Il convient, en outre, de faire remarquer que l'addition de gruaux provenant de la zone périphérique de l'albumen apporte non seulement les diastases nécessaires à la formation de sucre fermentescible, mais aussi les sels minéraux et en particulier les phosphates, indispensables au travail de la levure.

Signalons, dans le même ordre d'idée, l'influence favorable du germe, généralement éliminé en totalité dans la mouture par cylindres. Les farines extraites de blés germés ont un pouvoir diastasique très élevé.

La maturation a une influence favorable sur le pouvoir diastasique des farines qui croît avec l'acidité. Cette augmentation varie avec les conditions de conservation de la farine (température, humidité). Dans les farines avariées, le pouvoir diastasique est très élevé; son étude, jointe à celle du pH, peut ainsi faire suspecter l'état de conservation de la farine (cas de la farine n° 7 des exemples précédents).

Le saccharose n'est pas intéressé par les actions diastases qui se produisent dans les farines dès qu'on les met au contact de l'eau. Des dosages effectués sur des pâtes d'âge différent donnent des résultats très voisins du chiffre initial de sucre non réducteur.

## V. — Importance du pouvoir diastasique en panification

Certains auteurs (GAHRKOFF) considèrent le pouvoir diastasique des farines comme un indice essentiel de leur valeur boulangère. Une telle interprétation paraît erronée. La

quantité de sucre fermentescible exigée par la levure est, en effet, relativement faible. DUMAS [54], puis GIRARD [61], par la seule considération de l'augmentation du volume de la pâte pendant la panification ou le calcul du gaz carbonique nécessaire à la production d'un pain bien développé, estiment qu'il faut un poids de sucre inférieur à 1 p. 100 du poids de la farine. J. LOEB [83] et R. GEOFFROY [59] calculent que la levure demande 1 g. à 1 g. 5 de sucre au maximum; d'après W.-K. JONES et J. SAXBY [69], les farines ayant un « indice de maltose » supérieur à 1,50 produisent suffisamment de gaz carbonique.

Ainsi, d'après les exemples que nous avons cités, même en dehors du saccharose, la levure trouvera dans les farines les plus pauvres une quantité de sucre toujours supérieure à celle qui lui est nécessaire pour réaliser une pâte bien levée.

Cependant, d'après WOODMANN [111], le volume du pain serait déterminé par le pouvoir amylolytique de la farine et VUN et SPANYAR estiment que l'addition de 5 p. 100 de sucre donne une augmentation de volume de 1 à 23 p. 100. Il semble que les farines mises en expérience soient alors de pouvoir diastasique déficitaire pour des pâtes de plasticité remarquable. En effet, la levure ignore la consommation de luxe (R. BONNET [13]) et puise dans le stock glucidique le minimum nécessaire; L. BOUTROUX a démontré qu'en ajoutant à certaines pâtes du glucose ou du maltose, on n'obtient pas un pain mieux développé.

Toutefois, il est vraisemblable qu'une certaine concentration en sucre favorise le travail de la levure. VANDELVELDE [107] étudiant l'influence des hydrates de carbone sur la fermentation panaire, a constaté, en effet, que l'addition en proportions convenables de saccharose ou de glucose accélérât la fermentation.

Il n'est d'ailleurs pas inutile de faire remarquer, à ce

sujet, que le sucre fermentescible produit par action diastatique est plus facilement utilisé par la levure que le sucre ajouté directement, car celui-ci est moins bien dispersé dans la pâte; d'autre part, le boulanger peut agir sur la vitesse de panification par la température et la quantité de levure introduite.

Enfin, comme l'ont remarqué J. BLISH, M. SANDSTREET et H. PLATENIUS [11], il y a corrélation entre le pouvoir diastatique de la farine et la couleur plus ou moins dorée de la croûte du pain, l'excès de sucre non utilisé par la levure étant caramélisé par la cuisson.

*Nota.* — D'après l'équation de la fermentation alcoolique, le gluten (1 mol., soit 180 g.) donne sensiblement la moitié de son poids d'alcool (2 mol., soit  $46 \times 2 = 92$  g.); de sorte que le minimum de 1 p. 100 de sucre, que nous avons signalé, d'après DUMAS et GIRARD, comme nécessaire pour le développement normal du pain, donne un potentiel d'alcool d'au moins 0 kg. 500 par quintal de farine. Cette remarque a servi de point de départ à des procédés de récupération d'alcool appliqués au cours de la cuisson; ceux-ci ne semblent pas, jusqu'ici, avoir donné les résultats pratiques attendus, mais il nous a paru intéressant de les signaler, à titre documentaire (citons notamment la méthode Navroswky, expérimentée en 1928 par le Service des Vivres de l'Armée).

## CHAPITRE CINQUIEME

### Propriétés mécaniques des pâtes de farine

La normalisation dont nous avons souligné l'intérêt pour les méthodes d'analyse doit s'étendre aux expressions utilisées en minoterie et en boulangerie; elle revêt une importance particulière en ce qui concerne la valeur boulangère des farines.

De même que pour un meunier, la *valeur meunière* est surtout basée sur le rendement en farine panifiable, le boulanger considère la *valeur boulangère* par la facilité du travail de la pâte et surtout par le rendement en pain; cette appréciation doit être complétée par la notion de *force* qui représente la propriété de donner non pas du poids, mais du volume avec une bonne texture de la mie.

Le dosage du gluten a toujours été considéré comme l'indice de la valeur boulangère; mais celle-ci est d'ordre qualitatif plutôt que quantitatif et c'est ce qui rend difficile sa **détermination**.

La première idée qui vient à l'esprit est de faire un essai de panification en appréciant les divers temps de l'opération (pétrissage, tourne, etc...) [5]. Mais ces opérations sont très difficiles à généraliser et l'interprétation des résultats varie avec l'opérateur; au point de vue contrôle de laboratoire, la panification mécanique, automatique, permettrait seule d'apprécier de façon scientifiquement satisfaisante la qualité boulangère des farines.

Pour éviter les coefficients personnels, il semble donc préférable de substituer à l'appréciation des caractères d'une panification les chiffres donnés par des essais de déformation de la pâte; aussi, depuis quelques années, les essais de plasticité des pâtes ont pris une importance capitale comme facteur d'appréciation de la valeur boulangère, non seulement des farines, mais également des blés et des semences.

## I. — Importance de la plasticité des pâtes en panification

La fermentation panaire consiste essentiellement dans la transformation d'une pâte massive en pâte spongieuse, sous l'influence du gaz carbonique dégagé par la fermentation alcoolique d'un sucre. Elle met donc en jeu deux phénomènes d'ordre différent :

a) l'un d'ordre *biologique* qui consiste dans la production de gaz carbonique aux dépens du sucre diastasique formé dans la pâte;

b) l'autre d'ordre *mécanique* qui consiste dans la déformation de cette pâte en membranes minces limitant de fines alvéoles que la cuisson fixera à l'état de mie plus ou moins finement bullée.

Par suite, la panification exige :

a) Un volume convenable de gaz carbonique qui est la source d'énergie principale (au début de la cuisson, la vapeur d'eau intervient également) de la déformation de la pâte; or, nous avons vu que le sucre d'origine diastasique est toujours suffisant pour assurer ce dégagement.

b) Une extension lamellaire de la pâte dont la limite naturelle reste le facteur essentiel de la valeur boulangère; la panification est, en effet, d'autant plus complète que la

pâte aura pu s'étendre davantage en membranes minces, mais de ténacité suffisante pour résister aux efforts mécaniques fournis pendant le travail, et donnera ainsi une mie dont les alvéoles, régulières et bien développées, offriront une plus grande surface de contact aux sucs digestifs.

C'est le complexe protidique colloïdal (gliadine + glutenine) qui va être, en quelque sorte, « l'armature élastique » de la pâte et permettre sa levée. Nous savons déjà qu'un minimum de gluten est nécessaire pour une bonne panification et qu'il existe, d'après E. FLEURENT, un rapport optimum entre la gliadine et la glutenine. Mais la plasticité de la pâte dépend moins de la quantité de gluten que de sa qualité et celle-ci est liée non seulement à la proportion centésimale des constituants mais surtout au degré de dispersion du système colloïdal.

On pourrait être tenté de faire l'essai d'extension sur le gluten immédiatement après le lavage. Mais on néglige ainsi les protides solubles et plus généralement les autres parties constitutives de la farine. D'autre part, le gluten est, dans une pâte homogène, uniformément réparti au sein de la masse et ses propriétés plastiques sont les mêmes dans toutes les directions; au contraire, le gluten lavé a une texture modifiée et ses propriétés mécaniques varient dans les différentes parties du paton selon les conditions d'extraction. Il est donc préférable de mesurer les propriétés mécaniques de la farine sur une pâte obtenue dans un état de plasticité voisin de celui réalisé dans le pétrin du boulanger. Il existe à cet effet divers appareils; les plus connus sont : en Allemagne, le Farinographe de BRABENDER [18], en Italie le Pneumodinamomètre de BORASIO et REGE [14], en France l'Extensimètre de CHOPIN [43], [109] (1).

(1) Citons également : Fermentomètre Dangoumeau, Ectasiographe Apsit et Brocq-Rousseau, Aleurographe Barbade, Distensomètre Engledow, Comparator Buhler, Mixer Record de Swanson, etc...

Les ressources du laboratoire où nous avons poursuivi ce travail et les conseils éclairés de M. CHOPIN nous ont conduit à prendre l'extensimètre comme base de nos essais.

## II. — Description de l'extensimètre Chopin et procédé de mesure

La méthode consiste essentiellement à faire passer progressivement, sous l'influence d'un courant d'air, un frag-

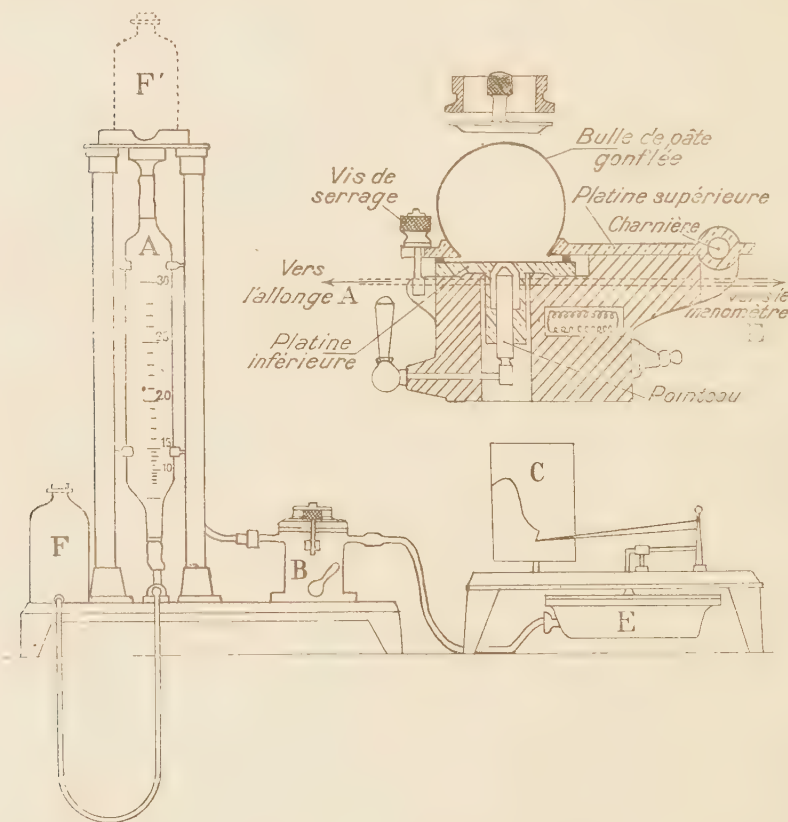


FIG 4. — Extensimètre Chopin. Schéma d'ensemble de l'appareil et coupe détaillée de la partie centrale (B).

ment de pâte de l'état de masse compacte à celui de membrane mince jusqu'à la limite naturelle de l'extension de

cette pâte où se produit un orifice de rupture; l'épaisseur de la bulle est alors d'environ un vingtième de millimètre.

L'appareil (fig. 4) est constitué par :

1° Une *allonge de verre* graduée A, dans laquelle sera envoyée, à l'aide d'un flacon de manœuvre F, l'eau destinée à refouler l'air sous la pâte.

2° Un *bâti de fonte* B, surmonté d'une platine, sur laquelle peut être rabattue une seconde platine, sans toutefois pouvoir venir au contact de la première, deux cales d'épaisseur réglant la distance minima qui doit séparer les deux platines.

La platine inférieure est percée, à son centre, d'une petite ouverture tronconique que l'on peut obturer exactement avec un pointeau manœuvrable de l'extérieur par une manette latérale.

Sous cet orifice, est ménagée une chambre reliée, d'une part à l'allonge de verre précitée, et, d'autre part, à un manomètre dont il sera question ci-dessous.

La platine supérieure porte également une ouverture circulaire, mais de plus large diamètre et dont l'axe coïncide, dans la position de rabattement, avec celui de la platine inférieure. Cet orifice peut être obturé par un tampon *ad hoc*.

Un rhéostat et une circulation d'eau permettent de porter l'ensemble à la température voulue.

3° Un *manomètre* E actionnant un stylet qui enregistre le diagramme de l'opération sur un cylindre rotatif C mû par un mouvement d'horlogerie. Ce cylindre porte un levier d'arrêt; il peut, en outre, être ramené à un point de départ invariable.

#### MODE OPÉRATOIRE

Les conditions d'essais sont parfaitement définies et doivent être *rigoureusement suivies*. L'opération (dont la durée totale est d'environ 45 min.) comprend deux temps :

### A) Préparation de la pâte :

1° Dans un pétrin porté à la température de 20° et entraîné mécaniquement à une vitesse constante, placer 350 g. de farine (1) tamisée pour parfaite homogénéité.

2° Verser rapidement sur la farine un volume déterminé d'eau distillée contenant 25 g. par litre de ClNa et portée préalablement à 20°.

La quantité d'eau à employer est variable en fonction de l'humidité H de farine de manière à réaliser une hydratation constante dans la pâte; elle est donnée par la formule suivante :

$$V \text{ cm}^3 = 175 + (15 - H) \times 3,5;$$

pratiquement, un tableau établi suivant cette formule donne par simple lecture la quantité d'eau correspondant au chiffre d'humidité de la farine.

*Nota.* — Il convient de vérifier la neutralité de la solution salée (virage normal au vert par le bleu de bromothymol); il arrive, en effet, qu'en utilisant du sel marin, on obtienne une solution nettement alcaline (virage au bleu pour pH > 7,6). Cette remarque a son importance, étant donné l'influence du pH sur la plasticité de la pâte.

3° Pétrir pendant 8 min. exactement, avec arrêt de 30 sec. après les deux premières minutes (profiter de cet arrêt pour nettoyer avec les doigts le friseur et incorporer à la masse les particules de farines non hydratées).

4° Démonter le pétrin, détacher la pâte et, par malaxage dans les mains huilées, lui donner la forme d'un cylindre d'environ 60 mm. de diamètre que l'on place dans un moule approprié où on le laisse reposer pendant 20 min. dans une étuve réglée à 20°.

(1) Pour déterminer la valeur boulangère d'un blé, on extrait d'abord au moulin de laboratoire une farine à 50 p. 100. Le choix de ce taux d'extraction relativement bas est dû à la nécessité de ne pas altérer la plasticité originale du blé, les petits moulins de laboratoire ne permettant qu'une mouture sommaire. On doit, d'ailleurs, remarquer que ces moutures grossières font apparaître dans les farines une notable proportion d'éléments périphériques, de sorte que ce taux de 50 p. 100 est assez fictif et que la farine obtenue représente assez bien l'ensemble du grain. Sur la farine ainsi extraite, on opère comme il est indiqué ci-après.

### B) *Essai à l'extensimètre :*

Le cylindre de pâte sera divisé en huit éprouvettes qui seront successivement essayées sur l'appareil d'extension de la façon suivante :

1° Placer l'éprouvette, prélevée dans la pâte à l'aide d'un emporte-pièce, sur la platine inférieure légèrement huilée et portée à 25°; rabattre doucement la platine supérieure jusqu'à la rencontre des cales et enlever le tampon permettant la division de la pâte en deux parties : l'une centrale formant un disque de dimensions bien définies, l'autre périphérique emprisonnée entre les deux platines et servant d'attache à la première.

2° Le pointeau étant abaissé, décoller la pâte en envoyant à l'aide du flacon de manœuvre 10 cm<sup>3</sup> d'air, cette opération ne devant pas être enregistrée.

3° Après avoir placé le flacon d'eau sur la plateforme située au-dessus de l'allonge, déclancher les départs simultanés du tambour d'enregistrement en appuyant sur le levier de mise en marche et du courant d'air en laissant s'écouler l'eau du flacon dans l'allonge.

4° Surveiller l'extension de la pâte et lorsqu'on constate un point de rupture, arrêter simultanément le cylindre d'enregistrement et l'écoulement de l'eau.

5° Lire sur l'allonge la division où affleure l'eau;

enlever à l'aide d'un emporte-pièce le disque de pâte qui a servi à l'expérience et qui sera ensuite pesé;

et remettre l'appareil en ordre de marche.

6° Lorsque les huit opérations sont terminées, peser les disques de pâte ayant participé à l'extension. Prendre la moyenne des huit lectures effectuées sur l'allonge graduée, et tracer le diagramme moyen sur lequel on effectuera ensuite les calculs indiqués ci-dessous.

### III. — Indications de l'extensimètre Interprétation du diagramme

Les indications de l'extensimètre Chopin permettent l'appréciation de trois facteurs :

1° La *pression maximum* (P) que peut supporter la pâte

et représentant sa *ténacité*. Exprimée en millimètres d'eau (1) elle est mesurée sur le diagramme moyen par l'ordonnée maximum OP qui peut osciller entre 20 et 80 millimètres. Il a été reconnu que la quantité d'eau « coulée » dans une farine par le boulanger est d'autant plus grande que la valeur de P est plus élevée.

2° *L'indice de gonflement* (G), représentant l'élasticité de la pâte. Mesurée par la racine carrée du volume d'air ayant entraîné la rupture de l'éprouvette, ce résultat compris généralement entre 15 et 22 est lu directement sur l'allonge de verre graduée à cet effet; il correspond à l'abscisse maximum A G du diagramme, la relation entre cette abscisse et G étant indiquée par un tableau d'étalonnage de l'appareil (2). De nombreux essais de panification effectués parallèlement aux essais de l'extensimètre dans des conditions de fermentation et de cuisson aussi définie que possible ont montré que l'augmentation de volume de la pâte au cours de la panification était sensiblement proportionnelle à l'indice de gonflement. Les bonnes farines doivent avoir au minimum un G de 18.

3° *Le travail de déformation de la pâte* (W) mesuré en « erg » par gramme de pâte. On le calcule en planimétrant la surface du diagramme moyen (3); le produit de cette surface par la valeur en erg de un cm<sup>2</sup>, donné par le tableau d'étalonnage de l'appareil, divisé par le poids de l'éprouvette de pâte mis en expérience donne le W.

Exemple (fig. 5) : soit une surface de 13,8 cm<sup>2</sup> et 48.250 la valeur en erg de un cm<sup>2</sup>, si le poids de pâte sur lequel ont

(1) Le manomètre (E) de l'appareil est réglé pour fournir directement le résultat.

(2) Ce tableau doit être périodiquement contrôlé en fonction de la vitesse d'écoulement de l'eau, au déroulement du cylindre enregistreur, etc...

(3) A ce sujet, il est essentiel de faire remarquer qu'il y a lieu d'éliminer les courbes extrêmes pour ne retenir que les déterminations représentant vraiment la moyenne de l'opération.

porté les essais d'extension (pg) est de 8 g. 50, on aura un W de :

$$W = \frac{48.250 \times 13,8}{8,50} = 78,3 \times 10^3 \text{ ergs};$$

pratiquement, on n'énonce pas les trois derniers chiffres, ainsi, dans ce cas particulier, on dira que le W est de 78,3.

Le W est en relation avec les qualités plastiques de la pâte et il est, par suite, un indice essentiel de la valeur boulangère d'une farine. Les résultats obtenus sur des farines de toutes provenances montrent que le W varie dans des limites très larges pouvant aller de 15 pour les farines de blés amidonneux, à 350 pour les farines de Manitoba.

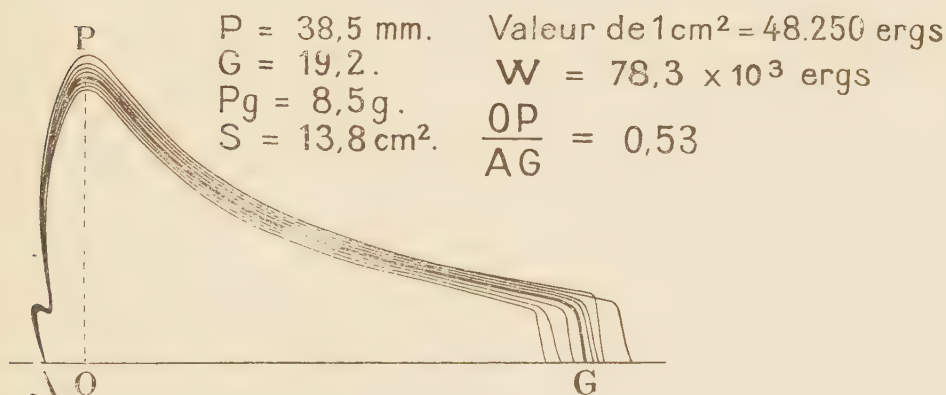


FIG. 5. — Diagramme-type enregistré à l'extensimètre  
(grandeur naturelle)

Les farines de nos blés indigènes doivent avoir un W minimum de 60.

Ce facteur, qui croît avec la surface du diagramme, dépend, par suite, de la pression et du gonflement et il est souvent seul indiqué comme résultat de l'essai d'extension. Il ne faut cependant pas prendre ce chiffre à l'absolu et *il est essentiel de tenir compte d'un judicieux équilibre entre la ténacité et l'élasticité.* On peut apprécier cet équilibre

par le *rapport* entre l'*ordonnée*  $OP$  et l'*abscisse*  $AG$  mesurés en millimètres sur le diagramme. Ce rapport est optimum aux environs de 0,55 et nous a permis d'étudier l'influence des correctifs utilisés en panification [33].

#### IV. — Influence de divers facteurs sur la plasticité des pâtes

##### A) Influence des conditions d'essai:

L'élévation de *température* de la pâte pendant l'essai d'extension, accroît l'indice de gonflement et réduit la ténacité (1).

Des quantités croissantes d'*eau* ajoutées à la farine agissent dans le même sens.

L'âge de la pâte influe également sur sa plasticité; un certain *temps de repos* est nécessaire à une bonne plasticité. C'est pourquoi toutes les pâtes ne se prêtent pas à une panification rapide et il est nuisible d'accélérer la production de gaz carbonique si la pâte n'est pas à l'optimum de plasticité nécessaire pour retenir le gaz dégagé.

Les compressions successives d'un même échantillon de pâte font apparaître un accroissement notable de la ténacité et une réduction corrélative de l'élasticité.

Ces observations soulignent l'importance qu'il y a à opérer toujours dans les mêmes conditions; mais pour un opérateur bien exercé, les écarts ne dépassent pas 1 à 2 p. 100.

(1) Nous avons remarqué qu'un abaissement de température d'au moins 5 degrés, exercé sur l'ensemble des opérations pouvait provoquer une élévation du  $W$  susceptible d'atteindre 25 %.

## B) Influence du pH de la pâte :

Les essais de C.-H. BAILEY et AMY LE VESCONTE [6], effectués en 1924, à l'extensimètre Chopin, ont montré qu'en pratique, la pâte présente un maximum d'extensibilité à pH 6 - 6,1. Plus récemment, J. LOEB [108] a confirmé ces expériences au moyen du même appareil.

Dès que le pH de la pâte tombe au-dessous de 6, on constate une chute notable de l'indice de gonflement et, par suite du travail de déformation, bien que la ténacité augmente. Voici, à titre d'exemple, quelques chiffres obtenus en ajoutant à l'eau de pétrissage des quantités variables d'acide sulfurique pour modifier le pH de la pâte :

| pH<br>de la pâte | indice<br>de gonflement | pression<br>maxima | travail<br>de déformation | rapport<br>d'équilibre |
|------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|
| 6,10             | 21                      | 31                 | 74                        | 0,35                   |
| 6,00             | 20,7                    | 33                 | 75,5                      | 0,39                   |
| 5,70             | 17,4                    | 39                 | 61                        | 0,68                   |
| 5,40             | 15,2                    | 37,5               | 50                        | 0,86                   |

Notons que les variations sont du même ordre en amenant le pH vers l'alcalinité.

Ces observations appellent deux remarques très importantes :

1° La maturation des farines ne doit pas être trop poussée, toute baisse exagérée du pH entraînant une diminution des qualités plastiques de la pâte. La limite inférieure de la bonne valeur boulangère se trouverait à pH 5,8; en principe les farines saines ne descendent pas en dessous de pH 5,9; les farines de pH 5,6 sont très difficilement panifiables. Ces données justifient quand il s'agit de farines acides et avariées, le procédé de panification à l'eau de chaux préconisé jadis par MÉGES-MOURIÈS et repris pendant la guerre par L. LAPICQUE et R. LEGENDRE [73] avec d'heureux résultats pour des farines à taux d'extraction élevé.

2° Le pH optimum de la plasticité des pâtes (pH 6) ne correspond pas à celui de leur activité diastasique (pH 5). A quoi sert alors une fermentation active au pH 5 si les pâtes, faute de plasticité, ne peuvent retenir les gaz et se dilater suffisamment sous l'action du four ?

Les études de ces dernières années ont expliqué et rectifié l'erreur de JESSEN-HENSEN [67] et de COHN et HENDERSON [45] qui avaient fixé au voisinage de 5 le pH optimum de la panification. Si au pH 5 la fermentation panaire est plus rapide, les qualités d'élasticité de la pâte sont déjà fortement altérées.

### C) Influence des constituants de la farine :

1° *Matières grasses.* — A. KLING, J. FROIDEVAUX et F. DUBOIS [71] étudiant le rôle joué par les matières grasses sur les propriétés mécaniques des pâtes de farines ont constaté que la pression extensimétrique augmentait avec les farines dégraissées. Nous avons également remarqué parallèlement à cette augmentation de la ténacité une diminution de l'indice de gonflement qui entraîne généralement une chute du W.

2° *Matières solubles.* — E. CAZAUBON [40] a obtenu des W plus élevés en utilisant comme eau de pétrissage un liquide d'extraction du gluten débarassé par filtration de l'amidon; certaines matières solubles auraient donc une influence favorable sur la plasticité des pâtes de farines.

3° *Gluten.* — L'addition d'amidon à une farine fait baisser son W (avec 20 p. 100 de fécule le W tombe de 117 à 74) ce qui montre que le gluten est bien l'élément plastique.

Comme nous l'avons fait pour le pouvoir diastasique, nous avons essayé à l'extensimètre trois farines de catégorie différente d'une même mouture (type Soder) et la farine intégrale résultant du mélange des trois précédentes sui-

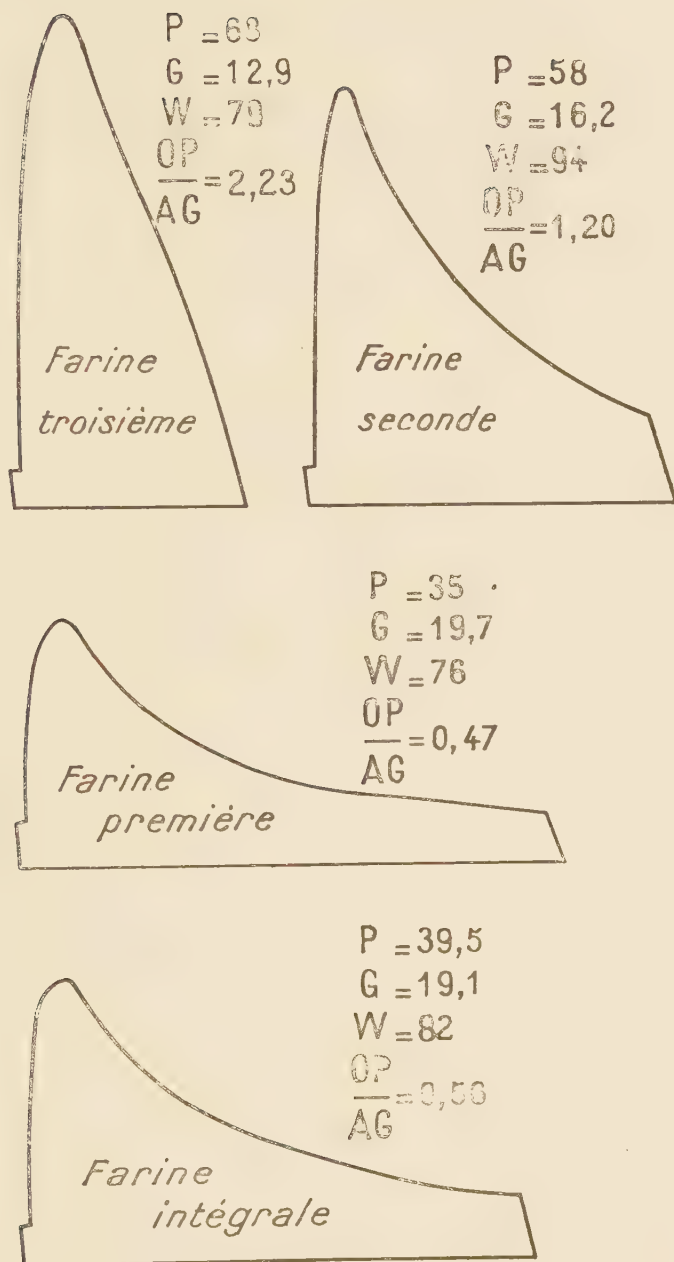


FIG. 6. — Diagrammes extensimétriques d'une farine intégrale et des farines première, seconde et troisième.

vant leurs rendements partiels. Voici les résultats que nous avons obtenus :

| Type de farine   | Taux d'extraction | Gluten |        |             | Essais à l'extensimètre |      |    |                   |
|------------------|-------------------|--------|--------|-------------|-------------------------|------|----|-------------------|
|                  |                   | sec    | humide | cap. d'hyd. | P                       | G    | W  | $\frac{O P}{A G}$ |
| 1° Première ...  | 66,5              | 9,1    | 28,7   | 66,8        | 35                      | 19,7 | 76 | 0,47              |
| 2° Deuxième ...  | 7,2               | 11,5   | 32,1   | 64,1        | 58                      | 16,2 | 94 | 1,20              |
| 3° Troisième ... | 2,1               | 12,7   | 23,1   | 45          | 68                      | 12,9 | 79 | 2,23              |
| 4° Intégrale ... | 75,8              | 9,7    | 28,2   | 65,2        | 39,5                    | 19,1 | 81 | 0,56              |

L'examen comparatif de ces chiffres et des diagrammes d'enregistrement (figure n° 6) montre que l'abaissement du taux d'extraction conduisant à des farines trop amylacées fait baisser le W; la ténacité est alors (farine première) insuffisante, le rapport d'équilibre étant au-dessous des limites normales.

Au contraire, les farines provenant des parties périphériques de l'albumen et de l'enveloppe interne (farines seconde et troisième), bien que de W satisfaisant, ont un rapport ténacité sur élasticité exagérément élevé; employées seules, elles seraient impropres à la panification.

Le W d'un mélange étant une fonction additive des W des constituants [44] (1), le diagramme du mélange conduisant à la farine intégrale représente les qualités plastiques d'une farine bien équilibrée (rapport d'équilibre OP/AG voisin de 0,55).

(1) Si l'on désigne par  $W_1$  et  $W_2$  le travail de déformation de chaque constituants, et par  $a$  le pourcentage du constituant de  $W_2$  dans le mélange, celui-ci aura un W donné par la formule :

$$W = W_1 + a (W_2 - W_1)$$

DEUXIEME PARTIE

**Les “améliorants” biologiques  
de la panification**



## CHAPITRE PREMIER

### La panification moderne et les " améliorants " biologiques

Les nécessités de la vie moderne et particulièrement l'application des lois sociales ont profondément modifié les méthodes de la panification.

Les tendances actuelles vont vers la simplification des opérations et visent à obtenir une plus grande production dans un temps minimum. C'est ainsi que l'on abandonne de plus en plus le travail sur « levain », en faveur du travail direct « sur levure ». Mais ce travail abrégé à la levure, surtout à partir de farines déséquilibrées et de qualité médiocre, a nécessité l'emploi de blés de force exotiques et de produits « améliorants ».

#### I. — Tendances actuelles de la panification

Le grain des céréales a d'abord été consommé cru; puis on eut l'idée de le broyer et de faire avec la farine obtenue une sorte de bouillie.

Peu à peu, on donna à cette bouillie une consistance plus épaisse et on finit par préparer une véritable pâte que l'on faisait cuire. Ces gâteaux n'étaient pas encore du pain puisqu'ils n'étaient pas fermentés; mais de bonne heure, on sut tirer parti de la fermentation — et la première fut

sans doute dûe au hasard d'une pâte aigrie — pour alléger la pâte et obtenir un aliment plus sapide et plus digestif.

On ne saurait dire à quelle époque remonte l'art de faire le pain; les Hébreux le possédaient déjà au temps d'Abraham car, dès cette époque, nous voyons dans la Genèse distinguer le pain sans épithète (*panis*) du pain azymé (*azyma*). L'emploi du levain est explicitement indiqué dans la Bible au temps de Moïse. Les Grecs empruntèrent aux Egyptiens les principes de panification et les firent connaître aux Romains; ceux-ci perfectionnèrent les procédés et l'on a retrouvé à Pompéï des fours présentant essentiellement les mêmes dispositions que ceux chauffés au bois à la fin du siècle dernier.

Nous n'avons pas à insister ici sur les origines de la panification; quant au principe, il est aujourd'hui ce qu'il a toujours été; mais les opérations ont subi certaines modifications apportées par la vie moderne.

Il y a une trentaine d'années, *le travail sur levain* était encore la seule méthode employée. Une partie de la pâte de la dernière fournée était mise de côté et sa fermentation spontanée conduisait en quelques heures à un « levain-chef ». La farine constitue un milieu de culture particulièrement favorable au développement de nombreuses espèces bactériennes; on y trouve, d'après L. BOUTROUX [17], outre de nombreux saccharomycètes, diverses bactéries acétiques, butyriques, lactiques, etc...

Pour éviter un développement trop rapide de ces bactéries qui auraient attaqué le gluten et diminué son élasticité, on ajoutait de la farine, de l'eau et surtout on aéraït par pétrissage (1); on obtenait ainsi le « levain de première », qu'un second, puis un troisième « rafraîchissement »

(1) Le boulanger, surtout à la campagne, lavait ses instruments de panification avec du lait. Les levures s'accommodent facilement des ferments lactiques et l'acide lactique arrête le développement des bactéries butyriques à la dose favorable aux levures (1 p. 100).

transformait en levain de seconde et levain de troisième; celui-ci, appelé encore levain de tout point, formait une masse importante, égale au tiers environ de la fournée à établir, qui était pétrie avec la farine et l'eau salée.

Avec le développement scientifique des industries de fermentation, commencèrent les premières tentatives de travail sur levure.

Il se crée d'abord des méthodes mixtes. On travaille encore sur levain mais le « rafraichissement » se fait par l'incorporation de levure jeune et vigoureuse dont on assure ainsi la prédominance sur les autres microorganismes. Ce procédé cède d'ailleurs rapidement la place au *travail sur « polish »*. Le polish ou pouliche est une sorte de levain très jeune; selon la force désirée, le boulanger prépare avec environ 10 à 30 p. 100 de farine une pâte claire additionnée de levure qu'il abandonne à une première fermentation pendant deux à quatre heures; cette pâte fermentée est ajoutée au reste de la farine au moment du pétrissage.

Les tendances actuelles vont enfin de plus en plus vers la simplification des opérations et tous les efforts d'amélioration tendent à la diminution du temps nécessaire à la fermentation. La boulangerie moderne abandonne levain et pouliche, opérations préliminaires qui prennent du temps, en faveur du *travail « direct » à la levure*. Celui-ci consiste à mélanger intégralement dans le pétrin farine, eau, sel et levure. L'ensemble des opérations est ainsi réduit au minimum et la fermentation se trouve accélérée. Pour des raisons d'ordre économique et sociale, réglementation du travail de nuit, main-d'œuvre, loi de huit heures, etc..., ce travail *abrégé* par la levure est de plus en plus utilisé. Il est à la base de la boulangerie industrielle où la main-d'œuvre cède la place à l'automatisme le plus

complet, depuis le pétrin jusqu'à la sortie du four (boulangerie de l'Assistance publique).

En boulangerie [104], on réserve le nom de « *pain viennois* » au pain à base de levure. Le meilleur pain viennois est obtenu par le travail sur pouliche; mais le travail direct a pour avantage une plus grande rapidité. Le travail viennois donne de bons résultats pour les pains dits de fantaisie; mais pour le pain courant de gros volume, la mie est humide, de texture fine, avec tendance à rassir et à durcir rapidement.

On appelle « *pain semi-français* » le pain préparé à partir d'un levain rafraîchi par addition de levure. Le pain du service des Vivres de l'Armée est « obtenu en principe par l'emploi combiné de levain et de levure » [37].

On donne le nom de « *pain français* » au pain à base de levain de pâte. Les fermentations secondaires (et notamment lactiques) lui donnent une sapidité qui invite à la mastication. La fermentation progressive homogène et prolongée et l'acidité (1) du milieu conduisent à un pain bien développé, frais sans être humide et rassis sans devenir trop rapidement sec.

Comme l'a rappelé J. CHEVALIER [41], la panification au levain est plus facile à conduire que le travail abrégé à la levure. La levée de la pâte est caractérisée par des phénomènes bio-physico-chimiques qui ne peuvent s'accomplir que dans des conditions bien déterminées de tempé-

(1) Cette acidité permet de différencier le pain de levain du pain de levures par touches colorimétriques, à l'aide d'indicateurs de Clark convenablement choisis. On dépose sur le pain une goutte des indicateurs qui, après humectation, donnent les virages suivants :

| Indicateurs :       | Virages        |                |
|---------------------|----------------|----------------|
|                     | Pain de levain | Pain de levure |
| Vert de bromocrésol | bleu vert      | bleu           |
| Rouge de méthyle    | rose           | orangé         |
| Bleu de thymol.     | jaune          | vert           |

rature et de temps. Toutes les farines ne se prêtent pas également à une panification rapide et l'on ne peut songer à régler dans d'étroites limites la fermentation panaire. Nous avons vu, d'autre part, qu'il y avait antagonisme, tout au moins partiel, entre les conditions optima de l'activité diastasique et celles de la plasticité. L'art du boulanger est de faire coïncider le maximum de fermentation et celui de rétention gazeuse de la pâte, ce qui est plus facile avec le travail sur levain. Suivant la phrase de PARMENTIER, « le boulanger a la faculté de préparer des levains de différents degrés de force, d'échanger ou de ralentir leur activité, afin d'améliorer par les états variés qu'il leur donne, le pain qu'on obtient de farines médiocres, humides ou revêches. »

Dans l'avenir, si l'on veut concilier les exigences économiques et sociales avec le travail sur levain, il faudra prévoir une organisation industrielle de la boulangerie permettant de travailler à feu continu. Ce sera, dans les villes, la disparition du petit boulanger qui ne sera plus qu'un distributeur de pain.

## II. — Principaux types d'« améliorants » biologiques

Le déséquilibre diastasique et protéique des farines dû à un abaissement excessif de leur taux d'extraction et les tendances actuelles de la panification visant à obtenir une plus grande production dans un temps minimum ont conduit à ajouter à nos farines de blés indigènes, en minoterie, des farines dites « *de force* », provenant de blés étrangers, et, en boulangerie, des produits « *améliorants* ».

Nous n'insisterons pas longuement sur la question des blés exotiques (Ex. : *Manitoba*) dont l'importation est régle-

mentée, en France, par les lois sur l'admission temporaire. Leur addition à nos blés indigènes se justifie :

a) au point de vue *biologique* : les blés exotiques ont généralement un potentiel diastasique sensiblement supérieur à celui de nos blés de pays. Voici, à titre d'exemple, le pouvoir diastasique d'une farine de blé indigène et celui de cette farine additionnée de 10 p. 100 de Manitoba :

|                                  | <i>Pourcentage de maltose<br/>en g. formé après :</i> |      |      |      |      |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                  | 1 h.                                                  | 2 h. | 3 h. | 4 h. | 5 h. |
| Farine de blé indigène . . . . . | 1,15                                                  | 1,56 | 1,79 | 1,92 | 2,04 |
| + 10 p. 100 de Manitoba . . . .  | 1,32                                                  | 1,84 | 2,06 | 2,23 | 2,39 |

b) au point de vue *mécanique* : les pâtes de farine dites « de force », provenant de blés exotiques ont toujours un W très élevé (200 à 350) et l'on sait que le W d'un mélange est une fonction additive de ceux des constituants; il y a lieu, cependant, de noter que le rapport ténacité/élasticité de telles farines se rapproche de celui de nos farines secondes, ce qui explique les difficultés de leur panification lorsqu'elles sont employées seules.

Pour réduire au minimum l'emploi de ces blés étrangers, il conviendrait :

a) d'opérer une *sélection* des semences de nos blés indigènes, suivant les conseils de M. SCHRIBAUX [98], pour éliminer les blés amidonniers de valeur boulangère déficitaire et encourager les efforts de nos sélectionneurs;

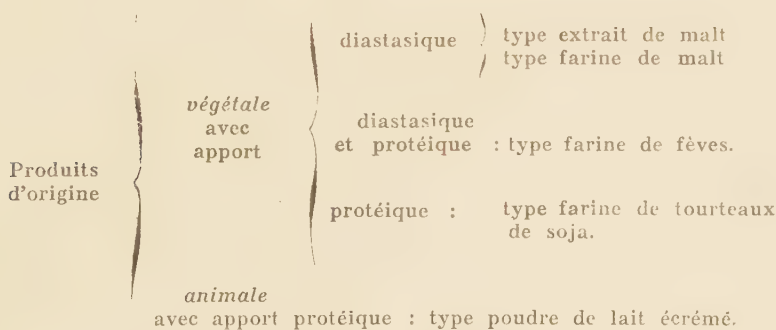
b) d'effectuer des *coupages* raisonnés avec les blés de force de l'Afrique du Nord dont A. DEMOLON [53] montrait récemment la grande valeur boulangère à l'extensimètre.

L'addition aux farines de produits chimiques ou naturels

n'est pas une question nouvelle, mais cet usage s'est généralisé depuis quelques années. Nous n'avons pas à revenir ici sur les « améliorants » *chimiques*. A la suite de l'avis de l'Académie de Médecine, une circulaire du Ministre de l'Agriculture (7 mars 1931) a interdit leur utilisation en minoterie et en boulangerie.

Cette interdiction a eu pour conséquence de développer l'emploi des « améliorants » *biologiques*. Ces produits d'origine animale ou végétale et qui ne présentent aucune nocivité (immédiate ou à retardement) sont généralement présentés en boulangerie sous forme de produits spécialisés, constitués par des extraits ou des poudres composées (addition de matières sucrées et amylacées) et sous des noms divers rappelant leurs constituants ou leurs propriétés : Maltol, Diastasol, Diamalt, Panamalt, Lactomalt, Samomalt, Deromalt, Fabamalt, Rapidase, Activase, Gloria, Panifax, etc., etc...

L'étude systématique de ces différents produits nous a permis de les ramener aux cinq types principaux suivants [33] :



On emploie surtout la farine et l'extrait de malt en boulangerie et la farine de fèves en minoterie.

Nous nous sommes limités à l'examen de ces princi-

paux types de correctifs biologiques de la panification. Il convient, cependant, d'ajouter à ces « améliorants », le plus généralement utilisés, toute une série de produits d'origine végétale, susceptible d'exercer une influence favorable sur la fermentation panaire par leurs propriétés diastasiques; citons notamment : la poudre de caroube [65], le moût de raisin, le petit son de riz, etc... Ces deux derniers produits, préconisés par E. MONTI [87] pour les farines à taux d'extraction élevé permettant, en outre, grâce à une cytase, l'éclatement des cellules de l'assise protéique, ainsi que nous avons pu le constater dans certains cas.

## CHAPITRE DEUXIEME

### Farine et extrait de malt

On comprenait primitivement sous le nom de farines maltées ou maltosées des farines ayant subi l'action de la diastase du malt et dont les amidons se trouvaient, de ce fait, partiellement dégradés en dextrine et maltose.

Par la suite, la dénomination de farines maltées a surtout servi à désigner celles obtenues :

a) soit par la mouture de graines ayant subi un commencement de germination;

b) soit par addition de farine de malt ou plus rarement de diastase; le nom de farines maltosées est plutôt réservé aux farines additionnées d'extrait de malt.

Le maltage du blé et la mouture de ces grains germés, après mélange avec les blés dont on cherche à améliorer la valeur boulangère, conduit à une farine maltée.

Cette pratique autorisée en minoterie à partir de blé germé ne l'est pas si on utilise de l'orge germé ou du malt d'orge [34] (1). Par contre, l'emploi des produits maltés comme correctifs de la panification est permis en boulangerie et très largement répandu. Ils sont présentés sous forme de poudre (farine de malt) ou d'extrait (extrait de malt).

Le malt (de l'allemand « melzen », qui signifie « amollir ») est de l'orge qu'on a fait gonfler dans l'eau et qui a

(1) Une question a été posée à ce sujet à M. le Ministre de l'Agriculture par M. Henry BOURDEAUX, sénateur (*J. O.* du 26 février 1933).

subi un commencement de germination; industriellement, cette germination peut être suspendue par une dessiccation ménagée; le grain est ensuite débarrassé de sa radicule par un traitement approprié.

La fabrication du malt comportera, par suite, trois opérations successives : mouillage, germination, touraillage.

a) *le mouillage* a pour but de gorger d'eau le grain d'orge; ce résultat est généralement obtenu après 48 heures de contact;

b) *la germination* des grains égouttés doit être faite à basse température (18° environ); elle dure de 8 à 12 jours;

c) *le touraillage* ou dessiccation s'effectue lentement et progressivement dans des appareils spéciaux ou tourailles où l'orge germé est disposé en couches minces. On envoie un courant d'air chaud qu'on élève jusqu'à + 100°; le grain est ensuite refroidi, séparé de ses radicules et nettoyé par criblage et ventilation.

Au cours de la germination, le développement de l'embryon s'effectue sous l'action des diastases (cytase, amylase, peptase, etc...). L'amidon constituant pour une large part les réserves nutritives de la jeune plantule, l'action de l'amylase est de beaucoup la plus importante. Le maltose se trouve en grande partie utilisé, au fur et à mesure de sa production, précisément pour satisfaire les besoins de germination.

L'orge (plus spécialement celle dont le poids à l'hectolitre est compris entre 64 et 67 kg.) est employée, de préférence aux autres céréales, parce qu'il semble que c'est elle qui produit le plus d'amylase et aussi parce que la plumule poussant à l'intérieur de la graine, entre l'enveloppe et l'amande, le pelletage ne risque pas de la briser au cours des manipulations. Le blé et le seigle aigrissent rapidement; les lipides du maïs et de l'avoine se sopo-

nifient partiellement et donnent des produits d'odeur peu agréable et de mauvaise conservation.

Le broyage en totalité du malt touraillé conduit à *la poudre de malt*.

La *farine de malt* est préparée par mouture industrielle du malt; le blutage élimine la pellicule externe dépourvue d'activité; le rendement est d'environ 75 p. 100.

La fabrication des *extraits de malt* est aujourd'hui une opération industrielle très perfectionnée. Réduit en poudre grossière, le malt est traité par l'eau tiède d'abord, puis de plus en plus chaude. L'amidon étant entièrement solubilisé et transformé en dextrines et maltose (ce dont on s'assure à l'aide d'iode), la masse est filtrée.

Les liqueurs obtenues (*extraits liquides*) sont réunies et évaporées sous pression réduite, aux environs de + 35-40°, jusqu'à consistance de miel épais (*extraits pâteux*); ceux-ci peuvent eux-mêmes être étendus en couche mince et évaporés à siccité (*extraits secs*).

## I. — Examen et analyse

A) **Farine de malt.** — La farine de malt se présente sous forme de poudre fine, douce au toucher, blanche avec fluorescence violacée très accusée à la lumière de Wood.

Examen au Pékar :  $\left\{ \begin{array}{l} \text{sec : couleur blanche.} \\ \text{humide : teinte blanche, légèrement rosée.} \end{array} \right.$

Les essais de tamisages effectués sur deux échantillons d'origine différente ont donné les résultats suivants :

|                         |       | Echantillon M... | Echantillon G... |
|-------------------------|-------|------------------|------------------|
| Refus au tamis n° 90    | ..... | »                | 2,1 p. 100       |
| —                       | 120   | 2,3 p. 100       | 3,4              |
| —                       | 150   | 13,2 —           | 18,7             |
| —                       | 200   | 20,5 —           | 23,2 —           |
| Passage au tamis n° 200 | ..... | 64,0 —           | 52,6 —           |

L'affleurement est donc suffisant pour obtenir facilement un mélange homogène avec les farines de froment.

Réactions diastasiques positives pour les oxydases, nulle pour les peroxydases.

Au microscope, on reconnaît l'amidon d'orge.

L'analyse chimique effectuée selon les méthodes habituelles sur les deux échantillons précédents a donné les chiffres ci-dessous :

|                                        |                      | <i>Echantillon M...</i> |       | <i>Echantillon G...</i> |       |
|----------------------------------------|----------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| Humidité .....                         | 9,80                 | calculé<br>sec          | 10,40 | calculé<br>sec          |       |
| Cendres .....                          | 0,38                 | 0,42                    | 0,41  | 0,45                    |       |
| Extractif à l'éther.....               | 0,90                 | 1,00                    | 0,95  | 1,05                    |       |
| Matières azotées ( $N \times 6,25$ ).. | 6,15                 | 6,82                    | 6,50  | 7,25                    |       |
| hydrocarbonés<br>{<br>glucides         | cellulose .....      | 0,30                    | 0,33  | 0,38                    | 0,42  |
|                                        | sucre réducteur .... | 6,70                    | 7,45  | 4,50                    | 5,02  |
|                                        | (en maltose)         |                         |       |                         |       |
|                                        | amylacés .....       | 75,50                   | 84,00 | 76,70                   | 85,50 |
| acidité sulfurique (en mg.).           | 145                  | 160                     | 130   | 144                     |       |

*Observations.* — Le pH de la farine de malt fraîche est voisin de 6.

L'acidité apparente est passée en deux mois de 145 à 150 mg. et de 130 à 140 mg..

Les farines de malt sont de bonne conservation; cependant, leur addition avec des farines de blés trop humides (humidité supérieure à 15 p. 100) nuit à la conservation de celles-ci, les actions diastasiques se manifestant rapidement.

La quantité de sucre réducteur préexistant dans la farine dépend des conditions de préparation du malt. La proportion de matières solubles dans l'eau (la diastase étant, bien entendu, détruite avant l'épuisement) peut atteindre 13 p. 100.

Les matières protéiques sont, en grande partie, solubles; l'azote soluble forme environ le tiers de l'azote total.

Comme on le sait, on ne peut extraire de gluten de la farine d'orge et, à fortiori, de la farine de malt.

B) **Extrait de malt.** — Les extraits de malt employés en boulangerie comme « améliorants » sont des extraits pâteux de consistance de miel frais; semi-transparent, de coloration jaune-brunâtre, ils présentent une odeur aromatique d'une saveur sucrée agréable.

Ils sont entièrement solubles dans l'eau en donnant une solution légèrement citrine et faiblement aromatique.

Trois échantillons, utilisés comme « améliorants » biologiques en boulangerie, ont présenté, à l'analyse chimique, la composition centésimale suivante :

|                     | <i>Echantillon Di...</i> |                | <i>Echantillon De...</i> |                | <i>Echantillon P...</i> |                |
|---------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Humidité . . . . .  | 26,00                    | calculé<br>sec | 24,20                    | calculé<br>sec | 27,10                   | calculé<br>sec |
| Cendres . . . . .   | 1,60                     | 2,80           | 1,65                     | 2,17           | 1,52                    | 2,08           |
| Extractif à l'éther | »                        | »              | »                        | »              | »                       | »              |
| Matières azotées .  | 5,60                     | 7,57           | 4,90                     | 6,45           | 5,15                    | 7,05           |
| Sucres réducteurs   | 65,30                    | 88,25          | 67,10                    | 83,10          | 64,70                   | 88,60          |
| (en maltose)        |                          |                |                          |                |                         |                |
| Acidité sulfurique  | 0,55                     | 0,79           | 0,60                     | 0,79           | 0,52                    | 0,71           |

*Observations.* — Ces extraits, contenus généralement en bidons métalliques, sont de bonne conservation dans leur récipient d'origine, sans bouchage spécial; leur solution aqueuse se trouble et se dépose peu à peu, à mesure que l'acidité augmente :

|                                         |                            | ph  | acidité<br>lactique |
|-----------------------------------------|----------------------------|-----|---------------------|
| Solution aqueuse<br>de Di... à 1 p. 100 | immédiatement . . . . .    | 6   | 1,02 p. 100         |
|                                         | après 1 semaine . . . . .  | 4,4 | 11,70 p. 100        |
|                                         | après 3 semaines . . . . . | 3,2 | 21,60 p. 100        |

Les matières sucrées sont presque en totalité du maltose. On peut trouver également un peu de dextrine solu-

ble, mais la présence de saccharose signalée par J. CHEVALIER [42], constitue une véritable fraude.

## II. — Influences sur la valeur boulangère des farines

### A) Influence d'ordre biologique.

Le pouvoir diastasique des produits maltés a fait l'objet de nombreux travaux depuis la découverte de l'amylase (qui fut ensuite adoptée par le Codex) par PAYEN et PERZOZ en 1833. Parmi les auteurs qui ont particulièrement étudié cette question, retenons les noms de COUTARET, DUCLAUX, OHLSSON, BYLA et DELAUNAY, LINTNER, OSBORNE et R. LECOQ, lequel a apporté, ces dernières années, une contribution importante à l'étude des conditions d'action de la diastase de l'orge germé [76].

Nous avons cherché l'influence des farine et extrait de malt sur le pouvoir diastasique des farines de froment, en nous plaçant dans les conditions habituelles de la panification.

#### 1° *Farine de malt.*

Nous avons déterminé parallèlement, suivant la méthode indiquée dans la première partie de ce travail, le pouvoir diastasique d'une pâte de farine-témoin (farine type « Soder », de mouture récente) et d'une pâte de la farine de blé additionnée de 0 g. 25 et 0 g. 50 p. 100 de farine de malt. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau suivant :

#### *Pourcentage de maltose en g. formé après :*

|                          | maltose<br>présentant | ½ h. | 1 h. | 2 h. | 3 h. | 4 h. | 5 h. |
|--------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| farine témoin . . . . .  | 0,18                  | 0,76 | 1,11 | 1,50 | 1,74 | 1,88 | 1,98 |
| farine { +0,25 % f. malt | 0,185                 | 0,90 | 1,28 | 1,72 | 2,06 | 2,20 | 2,31 |
| témoin } +0,50 % f. malt | 0,19                  | 0,94 | 1,38 | 1,87 | 2,22 | 2,38 | 2,48 |

L'activité diastasique de la farine de malt est donc très sensible dans les conditions de la panification. La quantité de maltose formée est sensiblement la même après trois heures dans la farine additionnée de 0,5 p. 100 de malt qu'après quatre heures dans la farine témoin.

Cette augmentation de l'activité diastasique permet de soupçonner l'addition de produit malté dans toute farine présentant un pouvoir diastasique élevé (« indice de maltose » supérieur à 2 g. 25, après cinq heures).

La dose de farine de malt à employer devrait varier suivant la farine à améliorer (variété du blé, taux d'extraction, degré d'acidité et de maturation); les pourcentages de 0,25 à 0,50, généralement utilisés, semblent, dans la plupart des cas, suffisants pour obtenir l'effet diastasique cherché. Des proportions supérieures ne sont pas sans inconvénients si les qualités plastiques de la farine de blé sont médiocres, le boulanger ne pouvant plus conduire une fermentation trop rapide. L'emploi de farine de malt se trouve donc limité automatiquement.

Signalons, à ce propos, que l'emploi, sous forme de produit spécialisé, de diastase très active (la quantité de maltose produit en deux heures après addition du produit dépassait celle obtenue en six heures pour la farine-témoin) n'a pas donné, en boulangerie, les résultats attendus.

## 2° *Extrait de malt.*

Les pouvoirs diastasiques déterminés parallèlement sur une pâte témoin et sur une pâte obtenue par pétrissage avec de l'eau salée contenant de l'extrait de malt aux doses de 0 g. 25 et 0 g. 50 p. 100 de farines sont les suivantes :

*Pourcentage de maltose  
en g. formé après :*

|                            | <small>maltose<br/>protéique</small> | <small>1/2 h.</small> | <small>1 h.</small> | <small>2 h.</small> | <small>3 h.</small> | <small>4 h.</small> | <small>5 h.</small> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| farine témoin . . . . .    | 0,18                                 | 0,76                  | 1,11                | 1,50                | 1,74                | 1,88                | 1,97                |
| farine { +0,25% extr. malt | 0,34                                 | 1,12                  | 1,48                | 1,95                | 2,25                | 2,42                | 2,51                |
| témoin { +0,50% extr. malt | 0,51                                 | 1,35                  | 1,76                | 2,28                | 2,62                | 2,78                | 2,89                |

L'extrait de malt fournit à la farine du sucre fermentescible :

1° Directement, par un *apport immédiat* très sensible même pour de faibles doses (sucre initial doublé par addition de 0,25 p. 100 d'extrait); une plus forte concentration en sucre fermentescible dès le début de la fermentation permet à la levure de réduire au minimum le « temps mort » et d'entrer tout de suite en activité.

2° Indirectement, par *action diastasique*.

Les doses généralement indiquées de 0,50 à 0,70 p. 100 g. de farine paraissent des maxima qu'il serait dangereux de dépasser, la levure pouvant être gênée par une trop forte concentration en sucre (BOUTROUX) [16].

### **B) Influence d'ordre mécanique.**

Incapable de suppléer par un apport protéique à un gluten déficient, la farine de malt ne peut agir sur la plasticité des pâtes que par une légère protéolyse.

Bien qu'on puisse la mettre en évidence par le dosage des acides-aminés dans des pâtes d'âge différent, cette protéolyse n'est pas très sensible au point de vue chimique dans les conditions habituelles de la panification et avec des proportions si faibles de produit malté. Il est d'ailleurs évident qu'une solubilisation du gluten serait nuisible à la valeur boulangère de la pâte [104].

De même, nous n'avons remarqué, dans le dosage du glu-

ten, aucune influence nette de la farine de malt utilisée dans les proportions précitées.

Cependant, nous avons pu constater, dans certains cas, un assouplissement du gluten; mais, des proportions supérieures à 5 p. 100 nuisent à l'extraction, le gluten devenant « filant ».

Les essais à l'extensimètre ont donné des résultats plus intéressants. Ils ont été effectués parallèlement sur des farines témoin de qualités différentes et sur ces mêmes farines additionnées de quantités croissantes de produits maltés. La farine de malt est mélangée au mortier et le mélange est tamisé pour assurer l'homogénéité; l'extrait de malt est préalablement dissous dans l'eau de pétrissage.

Voici, sur deux farines types, les résultats obtenus :

| Indications<br>de<br>l'extensimètre          | farine<br>témoin A | + farine<br>de malt<br>0,6 à 1 % | + extrait<br>de malt<br>0,5 à 1 % | farine<br>témoin B | + farine<br>de malt<br>0,5 à 1 % | + extrait<br>de malt<br>0,5 à 1 % |
|----------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| G (indice de gonflement ou élasticité) ..... | 16,3               | 16,9 à 17,4                      | 17,1 à 17,7                       | 19,5               | 19,9 à 20,5                      | 21 à 20,6                         |
| P (pression maximum ou ténacité) .....       | 38,2               | 36 à 32                          | 35 à 29                           | 24,2               | 24,3 à 24,1                      | 24 à 23,6                         |
| W (travail de déformation) ..                | 67                 | 68 à 60                          | 65 à 56                           | 50                 | 52 à 55                          | 52 à 47                           |
| A G (rapport d'équilibre) ..                 | 0,76               | 0,67 à 0,56                      | 0,62 à 0,50                       | 0,33               | 0,31 à 0,30                      | 0,30 à 0,26                       |

*Nota.* — Quelques essais effectués avec des proportions de malt supérieures à 1 p. 100 ont montré que ce pourcentage ne devait pas être dépassé, la chute de P et par suite de W étant alors sensible et constante.

Ainsi, l'addition de produits maltés aux pâtes de farines a tendance à augmenter leur élasticité, mais en trop forte proportion elle diminue la ténacité et, par suite, le W.

Il importe de remarquer que l'emploi des farines et ex-

trait de malt doit être effectué avec modération, en raison des répercussions favorables ou nuisibles, variables selon les pâtes auxquelles ces produits sont ajoutés. D'après les résultats précédents, il semble qu'en règle générale l'addition de malt ne soit justifiée que si le rapport d'équilibre de la pâte est supérieur à 0,60; dans certains cas, on peut alors constater un assouplissement du gluten conduisant à des pâtes plus douces dont la panification est ainsi facilitée.

Le résultat est déjà sensible avec des doses de produits maltés qui exercent, d'autre part, une influence très nette sur le pouvoir diastasique.

## CHAPITRE TROISIEME

### Farine de fèves

L'amélioration de la valeur boulangère des farines de froment par addition de farine de fèves ou féveroles (*vicia faba* ou *equina*, légumineuses) n'est pas une question nouvelle. Cette pratique remonte aux temps anciens et est déjà signalée par PLINE au Livre VIII [94] : « ...frumento etiam miscetur apud plerasque gentes et maxime solido, ac delicatus fracta. »

Au milieu du siècle dernier, elle fut légitimée jusqu'à la dose de 4 p. 100 par un arrêt de la Cour de Cassation en date du 22 avril 1854, stipulant que « le mélange en dose très minime de la farine de féveroles dans les années humides était nécessaire pour la bonne confection du pain et étant habituellement employé comme une sorte de levure, il y avait eu défaut d'intérêt pour les prévenus et, par suite, absence de fraude. » Le Congrès international des falsifications et des fraudes tenu à Paris, en 1900, a confirmé cette tolérance.

Cependant, la loi du 4 mars 1934 avait interdit, à partir du 1<sup>er</sup> juillet, l'addition de farine de fèves en minoterie. Elle a été modifiée par une nouvelle loi du 1 juillet 1934 qui autorise l'incorporation de farine de fèves à la farine panifiable jusqu'à la dose de 1 p. 100. Deux dispositions particulières précisent cette autorisation :

1° Les farines panifiables qui contiendront de la farine

de fèves porteront sur l'étiquette de garantie l'indication de cette addition.

2° Cette farine de fèves devra provenir de la métropole, des colonies, des pays de protectorat ou des territoires sous mandats (1).

## I. — Examen et analyse

La farine de fèves est une poudre fine au toucher, de coloration blanc-crème, à odeur de noisette agréable ; examinée sous la lumière de Wood, elle présente une fluorescence blanc-grisâtre. Au pékar humide, on note une teinte jaune clair.

Le tamisage indique un affleurement très poussé, le passage au tamis n° 200 dépassant généralement 90 p. 100.

Au microscope, on remarque les grains d'amidon de légumineuses, caractéristiques par leur aspect de « pain fendu » (longueur 20 à 60  $\mu$ , largeur 8 à 30  $\mu$ ). Leur proportion plus ou moins élevée permet d'apprécier le pourcentage de farine de fèves dans un mélange avec la farine de froment; mais, pour un expert bien exercé, l'approximation ne peut dépasser 1 p. 100.

L'examen microscopique permet seul, avec sécurité, la recherche et, dans une certaine mesure, le dosage de la farine de fèves dans la farine de blé. Mais de nombreux procédés, plus ou moins empiriques, ont été indiqués pour déceler la présence de féverolles. Citons, à titre documentaire, celui de DOXNY [1] : on étale sur le bord d'une cap-

(1) La culture de la fève est préhistorique en Europe, Egypte et Arabie. La fève était réputée impure chez les Egyptiens; elle était, au contraire, très en honneur chez les Romains qui en faisaient le plus grand usage.

Actuellement, une très grande quantité de fèves est importée d'Egypte. En France, on la cultive surtout en Vendée et Bourgogne; en Afrique du Nord, en Algérie et au Maroc.

sule un peu de pâte préparée avec la farine à essayer; on verse dans le fond de la capsule quelques gouttes d'acide nitrique et on chauffe de manière à faire passer les vapeurs acides sur la pâte que l'on soumet ensuite à l'action des vapeurs ammoniacales; la farine de froment traitée dans ces conditions devient jaunâtre, tandis que la farine de féverolles prend une coloration pourpre.

L'analyse chimique effectuée sur trois farines de fèves d'origines diverses a donné la composition centésimale suivante :

|                                |                        | <i>Echantillon V. .</i> |       | <i>Echantillon N...</i> |       | <i>Echantillon C...</i> |       |
|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
|                                |                        | calculé                 |       | calculé                 |       | calculé                 |       |
| Humidité .....                 |                        | 9,75                    | sec   | 10,20                   | sec   | 10,90                   | sec   |
| Cendres .....                  |                        | 2,70                    | 2,98  | 2,80                    | 3,52  | 2,55                    | 2,86  |
| Extractif à l'éther .....      |                        | 0,95                    | 1,05  | 1,10                    | 1,22  | 1,05                    | 1,18  |
| Matières azotées (N×6,25)...   |                        | 29,70                   | 32,90 | 28,50                   | 38,20 | 27,80                   | 31,20 |
| Hydrates<br>de<br>carbone      | sucres réducteurs .... | traces                  | »     | traces                  | »     | traces                  | »     |
|                                | amylacés .....         | 54,20                   | 60,0  | 55,40                   | 61,50 | 55,70                   | 62,70 |
|                                | cellulose .....        | 2,50                    | 2,77  | 1,85                    | 2,06  | 1,75                    | 1,97  |
| Acidité sulfurique (en mg.)... |                        | 160                     | 177   | 130                     | 144   | 180                     | 210   |

### *Observations :*

L'acidité ionique de la farine de fèves de mouture récente est voisine de pH 6.

La farine de fèves est, dans les conditions normales, de bonne conservation; dans les cas précédents, l'acidité sulfurique est passée, en deux mois, de 160 à 180 mg., 130 à 160 mg. et 180 à 200 mg.

On remarquera le pourcentage élevé des cendres; celles-ci additionnées, sous la lumière de Wood, d'une goutte de solution alcoolique de sulfate d'ortho-oxyquinoléine donnent immédiatement une fluorescence jaune clair très intense, les cendres de farine de blé traitées dans les mêmes conditions ne présentant généralement qu'une teinte jaune-grisâtre très peu accusée.

Les matières grasses examinées aux U. V. par capillarité présentent une fluorescence blanche avec quelques

stries. On emploie d'ailleurs très souvent de la farine de fèves dégraissée.

L'extraction du gluten est pratiquement impossible dans les conditions habituelles. Le pâton forme une masse gluante, adhérant au mortier, collant aux doigts et qui s'élimine complètement sous un filet d'eau un peu prolongé. Cela tient à la composition particulière du gluten qui, d'après E. FLEURENT [58], est composé d'environ 95 parties de glutenine pour 5 de gliadine.

Le rapport entre l'azote soluble et l'azote total est voisin de 8,2; selon ROUSSEAU et SIROT [95], il ne peut améliorer celui des mélanges de farines de fèves et de blé, dans les proportions où ces mélanges sont généralement effectués.

## II. — Influences sur la valeur boulangère des farines

### A) Influence d'ordre biologique.

E. KAYSER et M. ARPIN [70] ont signalé la présence d'amylase dans la farine de fèves. Nous avons étudié l'activité diastasique de cette amylase dans les conditions où la farine de fèves est généralement employée en panification.

On trouvera dans le tableau ci-dessous les résultats d'expériences effectuées parallèlement sur une farine de blé témoin et sur cette farine additionnée de 2 à 4 p. 100 de farine de fèves :

|               |                   | <i>Pourcentage de maltose<br/>en g. formé après :</i> |      |      |      |      |      |      |
|---------------|-------------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|               |                   | m. l. s.<br>pre x-st. n                               | ½ h. | 1 h. | 2 h. | 3 h. | 4 h. | 5 h. |
| farine témoin | .....             | 0,18                                                  | 0,76 | 1,11 | 1,50 | 1,74 | 1,88 | 1,97 |
| témoin        | { +4% f. de fèves | 0,18                                                  | 0,88 | 1,27 | 1,75 | 1,96 | 2,14 | 2,23 |
| farine        | { +2% f. de fèves | 0,18                                                  | 0,85 | 1,22 | 1,68 | 1,92 | 2,06 | 2,16 |

Nous avons réuni quelques courbes représentatives qui montrent l'influence comparative de la farine de fèves (4 p. 100), de la farine et de l'extrait de malt (0,5 p. 100) sur le pouvoir diastasique d'une même farine témoin (fig. 7).

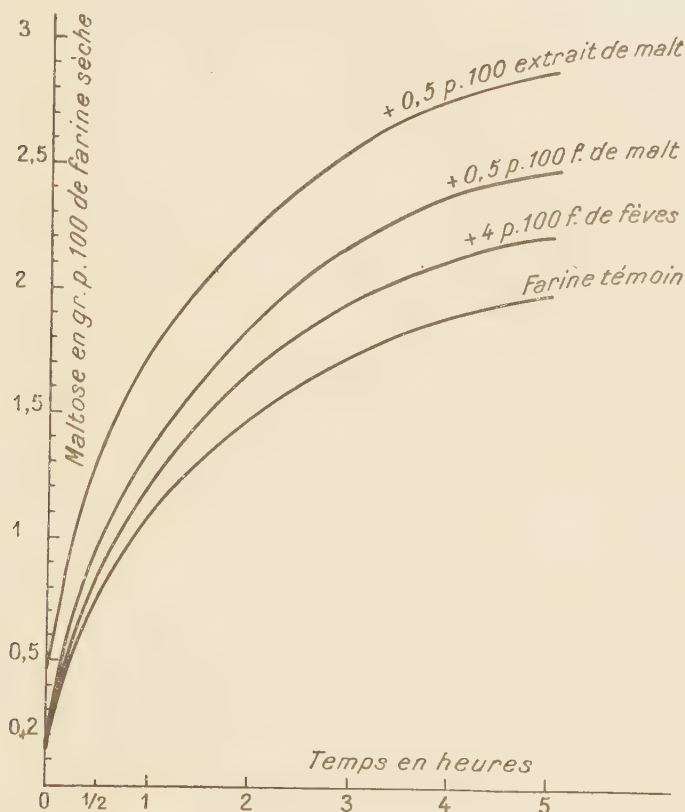


FIG. 7. — Courbes comparatives des pouvoirs diastases d'une farine de froment avec et sans améliorants biologiques.

Quoique plus faible, l'action diastasique de la farine de fèves est très nette. La quantité de maltose formée après trois heures dans la pâte témoin est déjà obtenue en deux heures dans la pâte de farine additionnée de fèves. Cette influence biologique est suffisante pour obtenir avec cer-

taines farines de faible pouvoir diastasique, une fermentation plus rapide et plus poussée.

On peut, d'ailleurs, augmenter sensiblement l'activité diastasique en employant des fèves germées. Pour obtenir cette germination, on fait tremper les fèves pendant 48 heures dans l'eau à plus 10 degrés environ. On les place sur une aire où la germination se développe, on fait sécher sur une touraille chauffée et on réduit en farine.

D'autre part, il y a lieu de signaler les remarques de E. KAYSER et M. ARPIN [70] sur l'influence de la farine de fèves sur les ferments alcooliques. Selon ces auteurs, la farine de fèves favorise la prolifération des levures; elle a également une action favorable sur la production des ferments lactiques.

#### **B) Influence d'ordre mécanique.**

La proportion importante des matières protéiques que révèle l'analyse chimique de farine de fèves a conduit à penser que son addition aux farines de froment pourrait suppléer à un manque de gluten de ces dernières. Cette addition devait, selon E. FLEURENT, être d'autant plus favorable que la forte teneur en glutenine des fèves était susceptible de compenser l'excès de gliadine de certains blés.

En 1892, M. GATTELIER disait déjà dans une communication à la Société d'Agriculture : « La farine de fèves a pour but de donner à la farine de blé à laquelle on la mélange dans une faible proportion, une force d'expansion nécessaire pour une bonne panification. Son usage, qui date de plus de 10 ans, s'est répandu en meunerie et l'on peut dire qu'il est aujourd'hui considéré comme indispensable, surtout depuis la production de blés indigènes à grand rendement que la culture française a considéra-

blement développé. Ces blés manquent de gluten et leur mouture exige, pour remédier à ce défaut de force, un mélange de farine de fèves très riche en azote. »

C'était également l'opinion de TOUAILLON qui écrivait (1879) : « La farine de féverolles augmente les propriétés extensibles du gluten... aussi a-t-on donné à cette farine la qualification expressive de *tient bon* ».

Au contraire, MOLL signale que le pain renfermant de la farine de fèves était plat et compact.

Pour étudier la répercussion de la farine de fèves sur le gluten, nous avons extrait les glutens de mélange de farines de blé et fèves en proportions diverses. Nous n'avons constaté ni augmentation de la capacité d'hydratation (par poids plus élevé de gluten humide), ni fixation protéique complémentaire (par poids plus élevé de gluten sec). Quand la proportion de 4 p. 100 de farine de fèves était dépassée, l'extraction devenait difficile; elle était pratiquement impossible lorsqu'elle atteignait 15 p. 100.

Ses résultats ne sont pas surprenants, étant donné l'acidité de la farine de fèves qui tend à baisser le pH et le caractère adhésif de son gel colloïdal nettement différent de celui des protides du blé. Les matières azotées de la farine de fèves ne semblent donc pas s'unir au gluten de la farine de froment.

Nous avons également effectué des essais d'extension de pâtes avec et sans farine de fèves. Ces essais pratiqués d'emblée avec 4 p. 100 de farine de fèves ont montré qu'il était toujours nuisible de dépasser cette proportion. D'ailleurs, la limite de tolérance de 4 p. 100 n'était pratiquement jamais atteinte en minoterie, où le mélange à la farine de blé se faisait habituellement au taux de 1 à 3 p. 100, et parfois moins.

En opérant avec ces pourcentages, on constate souvent

une augmentation de la ténacité, mais également une diminution plus ou moins sensible de l'indice de gonflement qui entraîne une chute du W. Voici d'ailleurs quelques chiffres obtenus sur deux farines témoins :

| Indications<br>de<br>l'extensimètre          | farine<br>témoin A | + farine<br>de fèves<br>1 à 2 % | + farine<br>de fèves<br>2 à 4 % | farine<br>témoin B | + farine<br>de fèves<br>1 à 2 % | + farine<br>de fèves<br>2 à 4 % |
|----------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| G (indice de gonflement ou élasticité) ..... | 16,3               | 16 à 15,5                       | 15,5 à 14,3                     | 19,5               | 19 à 18,4                       | 18,4 à 16,2                     |
| P (pression maximum ou ténacité) .....       | 38,2               | 38 à 40                         | 40 à 40,5                       | 24,2               | 25,3 à 25,5                     | 25,5 à 27                       |
| W (travail de déformation) ..                | 67                 | 65 à 59                         | 59 à 53                         | 50                 | 50 à 46                         | 46 à 37                         |
| OP (rapport d'équilibre)...                  | 0,76               | 0,79 à 0,90                     | 0,90 à 1,07                     | 0,33               | 0,36 à 0,40                     | 0,40 à 0,57                     |

*Nota.* — L'amélioration du rapport d'équilibre n'est, dans le dernier cas, qu'apparente, puisqu'elle est obtenue par une chute sensible du W.

Il découle, de cette étude, que l'influence de la farine de fèves est très nette au point de vue biologique; par son apport diastasique, elle évite une maturation des farines, ce qui permet de pouvoir les écouler de suite après leur mouture et d'éviter un stockage au moulin.

Mais il y a lieu de faire toutes réserves sur son rôle améliorant de la plasticité des pâtes. On constate, au contraire, très souvent (et particulièrement avec les farines déjà vieilles) une diminution très sensible de l'élasticité.

Il convient donc de n'employer les farines de fèves (dont l'analyse préalable est indispensable) que judicieusement et en proportions mesurées; or leur addition, généralement systématique en minoterie, du fait d'un prix de revient inférieur à celui de la farine de blé, est souvent suivie d'une seconde addition par le boulanger.

## CHAPITRE QUATRIEME

### Farine de tourteaux de soja

Le soja (*dolichos soja*, légumineuse) est cultivé depuis la plus haute antiquité en Chine et au Japon où il sert, grâce à sa richesse en matières azotées, à compléter les rations de riz. En Europe, on ne peut employer que des variétés précoces qui, seules, ont le temps de mûrir.

Les produits alimentaires à base de soja sont très nombreux et variés : farine de soja que l'on utilise en raison de sa faible teneur en matières amylacées pour la fabrication de pain pour diabétiques, huile de soja à laquelle on a reconnu un effet laxatif, lait de soja et ses dérivés (fromage, caséine, etc...), enfin des produits de confiserie, condimentaires et des ferments à base de soja.

La graine de soja (1) est particulièrement riche en matières protéiques (40 p. 100) et en matières grasses (près de 20 p. 100); elle renferme également une forte proportion de cendres; selon certains auteurs, elle ne contient pas d'amidon.

Quand on broie les graines de soja décortiquées, on obtient une farine jaune clair. Par pression et chauffage (2) on en extrait l'huile de soja, de couleur jaune rougeâtre.

(1) La graine de soja a été particulièrement étudiée par BLONDEL au point de vue histologique et MEISSEL et BOCKER au point de vue chimique. Citons également une étude d'ensemble sur le soja par LI-YU-YING et GRANDVOINNOT [82].

(2) Le chauffage a également pour but d'éviter une certaine amertume au produit.

L'extraction de l'huile laisse comme résidu des galettes ou *tourteaux*. C'est la farine obtenue à partir de ces tourteaux que l'on utilise comme correctif de la panification; cet emploi est d'ailleurs assez rare en France.

## I. — Examen et analyse

La farine de tourteaux de soja est « ronde » au toucher, de coloration et odeur de produit chauffé. Examinée sous les rayons U. V., elle présente une coloration jaune plus ou moins verdâtre, suivant le pourcentage de matières grasses; on peut ainsi déceler sa présence dans un mélange avec la farine de froment, lorsque sa proportion atteint 2 p. 100; d'après G. CAPELLI [39], la fluorescence bleuâtre du blé disparaît avec 10 p. 100 de soja.

Le pékar humide a une teinte jaune foncé.

Les réactions diastasiques (oxydases et peroxydases) sont négatives.

Au tamisage, l'échantillon sur lequel ont porté nos essais a donné les pourcentages suivants :

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| Refus au tamis n° 90.....    | 0,6 p. 100 |
| — — 120.....                 | 36,2 —     |
| — — 150.....                 | 18,4 —     |
| — — 200.....                 | 14,3 —     |
| Passage au tamis n° 200..... | 30,1 —     |

La composition centésimale était :

|                                                                                                                                                                              |        |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|
| Humidité .....                                                                                                                                                               | 8,30   | Calculé<br>sur |
| Cendres .....                                                                                                                                                                | 6,12   | 6,66           |
| Extractif à l'éther .....                                                                                                                                                    | 2,04   | 2,22           |
| Matières azotées ( $N \times 6,25$ ) .....                                                                                                                                   | 52,75  | 57,82          |
| $\left. \begin{matrix} \text{hydr.} \\ \text{p.} \end{matrix} \right\} \left. \begin{matrix} \text{gluc.} \\ \text{d.} \end{matrix} \right\} \text{amylacés} .....$          | 28,50  | 31,00          |
| $\left. \begin{matrix} \text{hydr.} \\ \text{p.} \end{matrix} \right\} \left. \begin{matrix} \text{gluc.} \\ \text{d.} \end{matrix} \right\} \text{sucres réducteurs} .....$ | traces | »              |
| $\left. \begin{matrix} \text{hydr.} \\ \text{p.} \end{matrix} \right\} \text{cellulose} .....$                                                                               | 2,26   | 2,47           |
| Acidité sulfurique (en mg.).....                                                                                                                                             | 400    | 430            |

*Observations :*

Le pH est voisin de 5,7-5,8.

La farine de tourteaux de soja est de bonne conservation; l'acidité sulfurique était montée en deux mois de 100 à 419 mg.

La forte proportion de matières minérales augmente notablement le pourcentage des cendres dans les mélanges avec la farine de froment.

Les protides constituent environ la moitié de la farine de soja; mais on ne peut extraire de gluten.

## II. — Influences sur la valeur boulangère des farines

### A) Influence d'ordre biologique.

Du fait de sa préparation, l'activité diastasique de la farine de tourteaux de soja est nulle; son acidité élevée tend à faire baisser légèrement le pH de la pâte.

Toutefois, dans les proportions où elle doit être employée comme correctif de la panification (1 à 2 p. 100), cette influence est sensiblement nulle sur le pouvoir diastasique de la farine. Des essais effectués dans les mêmes conditions que pour les farines de fèves et de malt nous ont donné, avec la farine de soja, des résultats presque identiques à ceux de la farine témoin; c'est donc au point de vue mécanique qu'il faut chercher la répercussion de l'emploi de farine de soja comme « améliorant ».

### B) Influence d'ordre mécanique.

Comme pour la farine de fèves, on a pensé que l'apport protéique considérable de la farine de soja pourrait compenser un manque de gluten des farines de froment.

Mais, là encore, nous n'avons pu constater de répercussion favorable bien nette à l'extraction du gluten de divers mélanges de farine de soja et de blé; l'acidité du soja nuit même aux conditions d'extraction, lorsque sa proportion dans le mélange dépasse 5 p. 100.

A l'extensimètre Chopin, les résultats pour les farines additionnées de soja accusent une augmentation marquée de la ténacité, mais aussi une diminution d'élasticité, surtout lorsque les doses de soja ajoutées atteignent 5 p. 100. Voici, d'ailleurs, sur les deux farines types ayant déjà servi de témoin pour les essais avec les farines de malt et de fèves, les résultats obtenus avec la farine de soja :

| Indications<br>de<br>l'extensimètre              | + farine<br>témoin A | + farine<br>de soja<br>1 à 2 % | + farine<br>de soja<br>2 à 4 % | farine<br>témoin B | + farine<br>de soja<br>1 à 2 % | + farine<br>de soja<br>2 à 4 % |
|--------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| G (indice de gonflement ou élasticité) . . . . . | 16,3                 | 16,1 à 15,8                    | 15,8 à 15                      | 19,5               | 18,8 à 17,6                    | 17,6 à 16                      |
| P (pression maximum ou ténacité) . . . . .       | 38,2                 | 39 à 41                        | 41 à 44                        | 24,2               | 26,5 à 30                      | 30 à 35,5                      |
| W (travail de déformation) . . .                 | 67                   | 66 à 68                        | 68 à 63                        | 50                 | 53 à 56                        | 56 à 57                        |
| OP (rapport d'équilibre) . . .                   | 0,76                 | 0,80 à 0,90                    | 0,90 à 1,04                    | 0,33               | 0,40 à 0,50                    | 0,50 à 0,75                    |

Il résulte de ces essais, qu'utilisée en proportions convenables, la farine de soja peut donner plus de consistance à certaines pâtes trop molles (par défaut de gluten); elle augmente le rapport d'équilibre ténacité sur élasticité, sans répercussion trop sensible sur l'indice de gonflement. Elle agit ainsi dans le même sens que la farine de fèves, mais d'une façon plus nette et plus constante. Par suite, son effet est inverse de celui des produits maltés qui favorisent surtout l'allongement et rendent les pâtes plus douces.

Nous avons rassemblé dans les pages suivantes (fig. 8 et 9) les diagrammes extensimétriques :

1° des deux farines témoins choisies A et B (rapport d'équilibre inférieur à 0,50 et rapport d'équilibre supérieur à 0,60),

2° de ces farines additionnées, en proportions convenables, de différents améliorants d'origine végétale.

On verra qu'il importe de ne pas employer ces correctifs au hasard; à ce propos, le rapport entre la ténacité et l'élasticité peut servir de base pour apprécier l'intérêt de leur addition aux farines de froment.

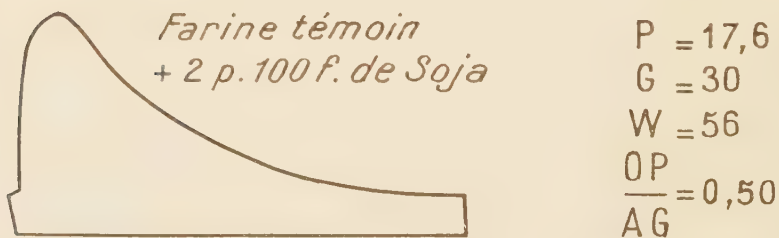
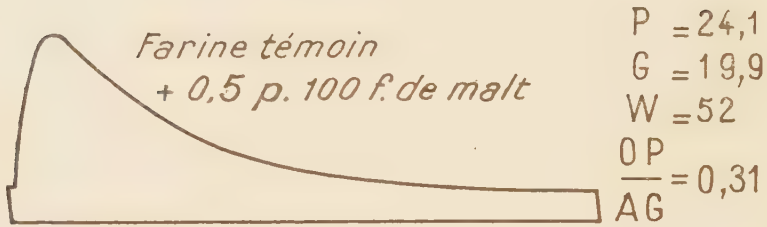
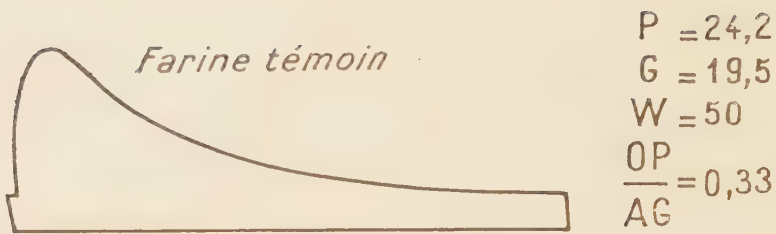


FIG. 8. — Diagrammes extensimétriques comparatifs d'une farine témoin (A) (rapport d'équilibre inférieure à 0,5), avec et sans améliorant biologique.

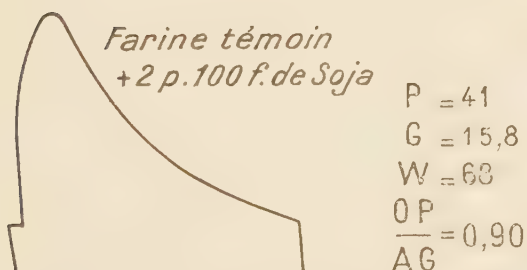


FIG. 9. — Diagrammes extensimétriques comparatifs d'une farine témoin (B) (rapport d'équilibre supérieure à 0,6), avec et sans améliorant biologique.

## CHAPITRE CINQUIEME

### Poudre de lait écrémé

L'emploi de la poudre de lait en boulangerie date, en réalité, d'une trentaine d'années. Certains pains de fantaisie étaient fabriqués, auparavant, avec addition de lait à l'eau de pétrissage. Mais l'utilisation du lait en nature présente certains inconvénients : le pain doit être consommé dans un délai assez court, pour éviter un rancissement de la matière grasse; en outre, le lait ne se conservant pas, il faut renouveler la production tous les jours. Aussi, l'emploi du lait en panification ne s'est-il développé qu'après l'apparition du lait pulvérisé.

Plusieurs procédés permettent d'obtenir le lait en poudre (1). O. SKOVHOLT et C.-H. BAILEY [101] ont signalé l'influence du mode de préparation sur le pouvoir panifiant du produit obtenu (2). Dans le procédé « *par brouillard* », le lait est projeté, à l'aide d'un jet à haute pression, sous forme de fines gouttelettes, dans une grande chambre où un fort courant d'air chaud le dessèche très rapidement. Dans le procédé « *par cylindres* », le lait est amené à la surface d'un cylindre d'acier rotatif, chauffé intérieurement par l'eau ou la vapeur; à mesure que le cylindre

(1) La question du « lait desséché » a fait l'objet d'un travail remarquable de Ch. PORCHER [92].

(2) C'est ainsi qu'un chauffage préalable à 77° améliore les qualités panifiantes.

tourne, une mince pellicule de lait desséché adhère à sa surface et est ensuite détachée par une lame fixe. Pour éviter une trop forte température, on opère parfois dans le vide.

Le plus souvent, la poudre de lait utilisée, comme correctif de la panification, est débarrassée de ses matières grasses.

Les premières expériences de panification avec addition de poudre de lait furent effectuées aux Etats-Unis. Les résultats rapportés au Congrès International de laiterie tenu à Washington en 1925 [93] furent jugés très satisfaisants et l'usage s'est tellement généralisé que les gouvernements des Etats-Unis ont cru devoir réglementer la composition des pains ainsi fabriqués; on a alors déterminé les définitions et « standards » des types de pain au lait.

En France, l'usage de la poudre de lait écrémé ne s'est guère répandu que pour les pains de fantaisie, le prix de la poudre de lait (même écrémé) étant trop élevé par rapport à celui de la farine. Cependant, en 1931, la Chambre d'Agriculture de la Seine-Inférieure « considérant la mévente actuelle des produits laitiers » émet un vœu en faveur de l'emploi de la poudre de lait en panification, à raison de 4 p. 100. La surproduction, il est vrai, se fait sentir depuis pour le blé.

## I. — Examen et analyse

La poudre de lait écrémé est ronde au toucher lorsqu'elle est obtenue par « cylindres » ; le procédé par « brouillard » conduit à un produit plus finement pulvérisé; la coloration est blanche plus ou moins crème, suivant la proportion de matières grasses; l'odeur et la saveur rappellent celles du lait.

Sous la lumière de Wood, elle présente une fluorescence blanche; ainsi, dès que sa proportion atteint 1 p. 100 dans les mélanges avec la farine de froment, on remarque sur le fond bleuâtre, une multitude de points brillants plus ou moins bien répartis, suivant l'homogénéité du mélange.

Des essais de tamisage indiquent un affleurement assez faible au tamis n° 200 (en général moins de 40 p. 100); le mélange homogène avec la farine est, par suite, assez difficile; d'ailleurs, la poudre de lait est souvent dissoute dans l'eau de pétrissage.

L'analyse chimique de divers échantillons nous a donné les compositions suivantes (résultats en g. p. 100) :

|                                 |       |       |        |
|---------------------------------|-------|-------|--------|
| Humidité .....                  | 3,10  | 1,90  | 3,60   |
| Cendres. ....                   | 7,90  | 7,60  | 8,05   |
| Extractif à l'éther .....       | 0,10  | 0,30  | 0,25   |
| Matières azotées (NX 6,25)..... | 35,50 | 34,70 | 36,40  |
| Lactose .....                   | 53,30 | 54,40 | 41,60  |
| Acidité sulfurique .....        | 88 mg | 95 mg | 110 mg |

La poudre de lait est donc une véritable lacto-caséine, très minéralisée. Sa conservation est satisfaisante en flacon bien bouché; en deux mois, l'acidité sulfurique n'est passée que de 88 à 94 mg.

## III — Influences sur la valeur boulangère des farines

### A) Influence d'ordre biologique.

Il résulte de déterminations de pouvoir diastasique effectuées sur des pâtes de farines, avec et sans addition de poudre de lait, que celle-ci a une répercussion défavorable sur la formation de sucre diastasique. Voici les résultats obtenus avec 4 et 6 g. p. 100 de poudre de lait écrémé

pulvérisé (l'apport de lactose est déduit des sucres directement réducteurs exprimés en maltose).

*Pourcentage de maltose  
en g. formé après :*

|                         | sucres<br>préexistants | ½ h. | 1 h. | 2 h. | 3 h. | 4 h. | 5 h. |
|-------------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| farine témoin.....      | 0,20                   | 0,78 | 1,14 | 1,54 | 1,79 | 1,94 | 2,05 |
| farine { +4% p. de lait | 0,192                  | 0,74 | 1,07 | 1,46 | 1,68 | 1,82 | 1,93 |
| témoin { +6% p. de lait | 0,19                   | 0,73 | 1,03 | 1,40 | 1,62 | 1,74 | 1,84 |

Le lactose n'étant pas fermentescible, on peut expliquer ainsi le retard à la fermentation que constatent les boulangers lorsqu'ils emploient la poudre de lait. C'est pourquoi, il est recommandé, « pour bien réussir », d'ajouter 3 p. 100 de sucre en même temps que le lait pulvérisé (vœu de la Chambre d'Agriculture de la Seine-Inférieure). Dans les produits spécialisés, vendus en boulangerie comme « améliorants », cet effet de la poudre de lait est corrigé par addition de farine de malt dont nous avons vu l'activité diastasique.

Il y a lieu de signaler, comme contre-partie de ce retard à la fermentation, une stabilité plus grande de la pâte permettant de retarder l'enfournement en cas d'accident ou de relâchement, sans toucher aux qualités du pain.

*Nota.* — La poudre de lait favorise la production d'acide lactique qui lutte si avantageusement contre les fermentations butyriques dans la pâte.

## **B) Influence d'ordre mécanique.**

Nous avons effectué des essais comparatifs d'extensibilité de pâtes de farines témoins et de farines additionnées de 2, 4 et 6 g. p. 100 de poudre de lait écrémé (doses habituellement employées). Le mélange était fait au mortier et tamisé pour homogénéiser aussi parfaitement que pos-

sible. La poudre de lait sec tendant à baisser le pourcentage d'eau, l'humidité était dosée sur chaque mélange, de façon à ajouter dans chaque cas la quantité d'eau de pétrissage nécessaire pour obtenir des pâtes de même consistance.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

| Indications<br>de<br>l'extensimètre          | farine<br>témoin | + poudre<br>de lait<br>2 à 4 % | + poudre<br>de lait<br>4 à 6 % | farine<br>témoin | + poudre<br>de lait<br>2 à 4 % | + poudre<br>de lait<br>4 à 6 % |
|----------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| G (indice de gonflement ou élasticité) ..... | 19,5             | 19,5 à 20                      | 20 à 19                        | 16,7             | 17,3 à 17,5                    | 17,5 à 16,2                    |
| P (pression maximum ou ténacité) .....       | 24,2             | 26,5 à 29                      | 29 à 32,5                      | 34,8             | 36,5 à 38,7                    | 38,7 à 40                      |
| W (travail de déformation) ..                | 56               | 55 à 64                        | 64 à 67                        | 63               | 68 à 74                        | 74 à 69                        |
| $\frac{OP}{AG}$ (rapport d'équilibre) ..     | 0,33             | 0,36 à 0,37                    | 0,37 à 0,45                    | 0,67             | 0,63 à 0,65                    | 0,65 à 0,83                    |

L'examen des chiffres précédents montre l'influence, généralement favorable, de la poudre de lait écrémé sur les propriétés mécaniques des pâtes grâce à son apport protéique; la ténacité est toujours sensiblement accrue, comme dans le cas de la farine de soja et à un degré moindre (et plus irrégulièrement), dans celui de la farine de fèves; mais on constate également, lorsque la proportion de 4 p. 100 de lait pulvérisé n'est pas dépassée, une légère augmentation de l'élasticité qui ne se produit jamais avec les farines de fèves et de soja; de ce fait, le W augmente d'une façon constante; enfin, il convient de remarquer que le rapport d'équilibre n'est pas profondément modifié comme avec les « améliorants » biologiques d'origine végétale. Cette influence mécanique, généralement favorable, de la poudre de lait écrémé compense largement le léger retard à la fermentation que nous avons signalé.

## CHAPITRE SIXIEME

### Répercussions des “améliorants” biologiques sur l'état physique du pain

Cette étude de l'influence des correctifs biologiques sur la valeur boulangère des farines a été complétée par des essais de panification pour examiner, notamment, leurs répercussions sur l'état physique du pain. Il nous a paru nécessaire de rappeler auparavant les méthodes d'examen des pains en insistant particulièrement sur le dosage de l'humidité qui présente, au point de vue de l'hygiène alimentaire, une importance capitale.

#### I. — Plan sommaire pour l'examen d'un pain

L'échantillon est adressé au laboratoire avec toutes les indications utiles (procédé et conditions de panification, poids initial de la pâte, date et heure de sortie du four, etc...). L'examen du pain est commencé dès son arrivée.

#### A) Examen des caractères physiques.

1° *Poids* (P.) : peser le pain à examiner.

2° *Volume* (V) : remplir de grains de millet ou de blé nettoyé une caissette de forme basse, susceptible de renfermer le pain à examiner; araser avec une règle sans tasser. Introduire le pain et après avoir arasé à nouveau la surface, mesurer, à

l'aide d'une éprouvette graduée, le volume des grains expulsés qui représente celui du pain.

*Observations.* — Le rapport V/P est en moyenne de 3.

Lorsque le développement est moyen, le volume du pain (en cm<sup>3</sup>) est voisin de quatre fois le poids (en g.) de la farine utilisée; c'est ainsi que pour un pain couronne de 1.200 g., obtenu à partir de 900 g. de farine on aura :

$$V = 900 \times 4 = 3.600 \text{ cm}^3 \text{ et } \frac{V}{P} = \frac{3.600}{1.200} = 3.$$

3° *Aspect* : noter la forme et les dimensions du pain (circulaire, couronne, allongé, etc...) la coloration de la croûte jaune doré (croûte supérieure), jaune pâle (insuffisance de cuisson) ou trop accentuée (croûte brûlée); le fleurage ne doit pas être en proportion exagérée et exempt de poussière et de sciure de bois.

La mie de coloration blanchâtre ou légèrement jaunâtre doit être adhérente à la croûte, élastique, avec alvéoles régulières, difficile à égrener.

*Nota.* — Cet examen est complété par divers autres caractères organoleptiques : odeur, goût, pouvoir d'imbibition, recherches des altérations (microorganismes, insectes, matons avec amidons étrangers, etc...).

4° *Proportions relatives de croûte et de mie* : sur un segment moyen représentant l'ensemble du pain, effectuer une sorte d'épluchage en recueillant les fragments de croûte dans un récipient taré.

Lorsqu'il y a hésitation sur la démarcation entre la croûte et la mie, on porte sous la lumière de Wood : la croûte présente une fluorescence marron et la mie bleu lilas.

Les pesées terminées, on fait le rapport en poids entre la mie et la croûte pour obtenir R = poids de la mie comparée à celui de la croûte ramené à l'unité. Soit, pour un pain couronne de 1.200 g. dont un quart a donné : 60 g. de croûte et

$$\begin{array}{r} 240 \\ 240 \text{ g. de mie} \end{array} \quad R = \frac{240}{60} = 4.$$

L'expérience montre que pour un même pain le rapport mie et croûte tend à s'abaisser avec le « ressuage » (temps de repos au cours duquel la mie se dessèche).

## B) Analyse chimique (dosage de l'humidité).

Les déterminations de l'analyse chimique des pains se font suivant les méthodes générales précédemment indiquées pour l'analyse des farines. Les résultats sont calculés en produits secs. Rappelons qu'il est difficile de rapprocher la composition du pain de celle de la farine utilisée pour sa fabrication et que le manganèse est un des éléments permettant d'effectuer avec sécurité la comparaison (cf. p. 36 et 37).

Nous n'insisterons, ici, que sur le dosage de l'humidité qui présente, à notre point de vue, une importance primordiale.



La méthode généralement suivie consiste à prélever un segment moyen du pain et à le dessécher à l'étuve jusqu'à poids constant. L'opération exige quatre à six heures et ne fournit aucune précision sur l'humidité de la croûte et surtout de la mie très souvent hydratée à l'excès dans des pains en apparence très cuits.

Nous évaluons le pourcentage de l'eau dans la croûte et dans la mie par entraînement au toluène [79]; cette méthode est très rapide et permet les examens en série. Une formule générale donne ensuite l'humidité moyenne du pain.

### MODE OPÉRATOIRE

1° Déterminer les proportions relatives de croûte et de mie, comme il a été précédemment indiqué.

2° Introduire la prise d'essai (50 g. pour la croûte et 25 g. pour la mie) dans un ballon type Pyrex de 500 cc. avec 150 à 200 cc. de toluène (1). Le ballon B est relié à un réfrigérant à reflux R à l'aide d'un dispositif spécial (figure ci-contre) permettant la séparation dans un tube gradué A des deux li-

guides non miscibles : eau (partie inférieure et toluène partie surnageante).

Porter et maintenir à l'ébullition jusqu'à niveau constant de l'eau dans le tube. Lire alors la graduation où affleure l'eau et ramener pour 100 de prise d'essai (1).

3° Connaissant l'humidité p. 100 de la croûte (He), l'humidité de la mie (Hm) et le rapport de poids de la mie à celui de la croûte (R), calculer l'humidité moyenne du pain (H) selon la formule indiquée par P. BRUÈRE [35] :

$$H \text{ p. } 100 = \frac{He + Hm \times R}{R + 1}$$

### INTERPRÉTATION ANALYTIQUE

L'expérience montre que dans une mouture type 75 p. 100, un quintal de blé industriellement propre fournit sensiblement 100 kg. de pain, avec un taux d'humidité qui ne dépasse pas 37 p. 100. Le calcul donne, en effet, les résultats suivants :

|                |                                                |
|----------------|------------------------------------------------|
| 1° Blé 100 kg. | = farine 75 kg. + issues 23 kg. + pertes 2 kg. |
| 2° Pâte        | farine 75 kg., soit matière sèche 63 kg. 750   |
| 120 kg.        | (à 15 p. 100 d'eau)                            |
| obtenue        | / et eau ..... 11 kg. 250                      |
| avec           | eau de pétrissage ..... 45 kg. / 56 kg. 250    |

Au total, 120 kg. de pâte renferment 56 kg. 250 d'eau, ce qui correspond à une hydratation maxima de 47 p. 100.

A ce propos, il importe essentiellement de noter un fait, déjà signalé par BALLAND en 1894 [7], et que nous avons eu l'occasion de contrôler : l'humidité de la mie d'un pain à la sortie du four est sensiblement égale à celle de la pâte à l'enfournement.

(1) La récupération du toluène s'effectue sans difficultés par agitation avec du noir animal et filtration.

(1) Dans certains cas, il peut y avoir intérêt à contrôler les résultats par une pesée de l'eau recueillie par distillation en prenant les précautions d'usage.

3° pain 100 kg } matière sèche de la farine.... 63 kg 750  
constitué par : } eau restant après cuisson .... 36 kg 250

ce qui correspond à un taux d'humidité moyenne de 37 p. 100.

Ce taux d'hydratation est, d'ailleurs, parfaitement compatible avec une mie très humide lorsque la croûte a été très cuite et existe en proportion importante, ce qui est le cas des pains forme baguette, dits de fantaisie. Nous citerons, à titre d'exemple, les résultats que nous avons obtenus sur un pain couronne du Service des Vivres de l'Armée et un pain de fantaisie :

|                                        | <i>pain<br/>couronne</i>               | <i>pain<br/>fantaisie</i>              |
|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| humidité de la croûte p. 100(Hc) ....  | 16                                     | 11                                     |
| humidité de la mie p. 100 (Hm)....     | 44                                     | 50                                     |
| proportion de mie pour 1 de croûte (R) | 3                                      | 2                                      |
| humidité moyenne p. 100 (H)            | $\frac{16 \cdot 11 \cdot 3}{3+1} = 37$ | $\frac{11 \cdot 50 \cdot 2}{2+1} = 37$ |

*Nota.* — Il est intéressant de compléter ce dosage de l'humidité à la sortie du four (ou après quelques heures de ressuage) par un nouveau dosage après 12 ou 24 heures de repos à l'air libre. Pour le pain de fantaisie, l'humidité de la mie (Hm) était passée après une demi-journée de repos de 50 p. 100 à 42 p. 100 tandis que l'humidité de la croûte (Hc) montait de 11 p. 100 à 16 p. 100 par fixation d'une partie d'eau abandonnée par la mie; le rapport de la mie à la croûte (R) étant tombé de 2 à 1,6, on avait une humidité moyenne (H) de 32 p. 100 contre 37 p. 100.

Généralement on observe plus simplement le rythme de dessiccation du pain à l'air, en prenant son poids toutes les 24 heures.

Rappelons que l'un des avantages de la panification au levain est de maintenir le pain frais sans être humide et rassis sans être sec par le retard que semble apporter à la rétrogradation de l'amylodextrine en sursaturation l'acidité du milieu.

Nous avons particulièrement insisté sur la question de l'humidité du pain, car elle est liée à sa digestibilité [36]. A la sortie du four, la mie du pain provenant d'une pâte trop hydratée est collante, luisante, facile à mettre en boule; elle représente alors un état instable d'amylo-dextrine en sursaturation dans un milieu voisin de la neutralité. Par refroidissement, la croûte cassante et craquante devient souple et coriace, tandis que la mie est devenue rugueuse, blanche et insipide par rétrogradation de l'amylo-dextrine qui fait place à un amidon insoluble et compact. Dans les deux cas la mastication pénible nuit à la digestibilité du pain.

## II. — Influences des "améliorants" biologiques

### A) Influences sur le travail de panification.

En accord avec les observations précédentes, on constate généralement une fermentation plus active avec les correctifs doués de propriétés diastasiques et notamment avec les produits maltés. Dans ce cas, la cuisson paraît plus rapide, le pain prenant aussitôt une teinte dorée. La poudre de lait entraîne, au contraire, un léger retard du temps de fermentation.

Les farines et extraits de malt adoucissent et amollissent les pâtes, contrairement à la farine de tourteaux de soja, qui leur donne plus de consistance.

Sauf dans le cas de la farine de fèves, il est généralement nécessaire de « couler » au pétrissage une quantité d'eau supérieure. Ce « coulage » supplémentaire est d'environ 2 à 3 litres pour 100 kg. de farine avec les produits maltés; dans le cas d'addition de poudre de lait, on doit, selon JOHNSON et BAILEY [68], ajouter à la pâte un poids

d'eau égal à celui de la poudre de lait employée, pour obtenir une plasticité normale; il faut tenir compte, il est vrai, de la faible humidité du lait desséché. Avec la farine de tourteaux de soja, la quantité d'eau de pétrissage doit encore être augmentée dans de plus fortes proportions.

## B) Influences sur l'état physique du pain.

Les répercussions des améliorants biologiques se traduisent sur les caractères organoleptiques du pain et surtout sur son humidité dont nous avons indiqué l'importance sur la composition physique du pain.

1° *Produits maltés.* — On trouvera ci-dessous les principales données de l'examen physique et du dosage de l'humidité de pains préparés dans une manutention militaire avec et sans correctifs maltés (l'examen a été fait après quelques heures de « ressuage »).

|                                   | Pain              |                      | Pain              |                      | Pain              |                     |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
|                                   | témoin<br>de malt | av. extr.<br>de malt | témoin<br>de malt | av. extr.<br>de malt | témoin<br>de malt | av. far.<br>de malt |
| Poids (P.)                        | 1215              | 1260                 | 1225              | 1270                 | 1205              | 1245                |
| Volume (V)                        | 3375              | 3540                 | 3310              | 3320                 | 3320              | 3475                |
| Rapport V/P                       | 2,75              | 2,8                  | 2,7               | 2,6                  | 2,75              | 2,8                 |
| Poids de mie pour 1 de croûte (R) | 2,8               | 3,4                  | 2,85              | 3,3                  | 2,7               | 3,2                 |
| humidité                          | croûte            | 13,2                 | 13,5              | 13,4                 | 13,5              | 13,0                |
|                                   | mie               | 45,7                 | 49,6              | 46,1                 | 48,4              | 45,3                |
|                                   | moyenne           | 37,2                 | 41,2              | 37,6                 | 40,4              | 36,6                |
| Dessication à l'air               |                   |                      |                   |                      |                   |                     |
| Perte d'eau                       | 24 h.             | 2,3                  | 2,1               | 2,35                 | 2,2               | 2,25                |
|                                   | 48 h.             | 4,1                  | 4,8               | 4,1                  | 4,7               | 4,0                 |
| p. 100                            | 3 j.              | 6,2                  | 6,8               | 6,0                  | 6,5               | 6,3                 |
| après                             | 8 j.              | 12,4                 | 13,6              | 12,5                 | 13,0              | 13,1                |

L'examen des chiffres précédents fait ressortir que l'augmentation de rendement (3 à 4 p. 100) n'est due qu'à une fixation d'eau dans la mie du pain que l'excès d'hydratation rend souvent collante.

Pendant le rassissement, la perte d'eau est plus accusée

pour le pain avec malt qui tend ainsi à peser le même poids que le pain ordinaire; toutefois la dessiccation est moins rapide pendant les premières 24 heures pour le pain préparé avec améliorant.

Le volume est généralement augmenté de façon plus ou moins sensible.

Extérieurement, le pain obtenu avec améliorant est plus doré, l'excès de sucre non utilisé par la levure ayant été caramélisé par le passage au four; la mie est légèrement plus jaunâtre pour le pain préparé avec extrait de malt, et de saveur agréable.

2° *Farines de fèves*. — MONTEUIS [88] a signalé que « la farine de fèves permet d'incorporer de l'eau dans le pain ». La fixation d'eau est, en tout cas, bien inférieure à celle obtenue avec les produits maltés et très souvent le taux d'hydratation des pains ainsi préparés avec addition de fève n'est pas sensiblement supérieur à celui des pains témoins.

Suivant la farine de froment utilisée, on a des variations de volume en sens divers ce qui indique combien l'emploi des farines de fèves doit être fait à bon escient (cf. p. 114).

En règle générale, il ne faut pas ajouter de farine de fèves à des farines déjà vieilles et l'on doit éviter, en tout cas, une addition supérieure à 2 p. 100.

Les pains préparés avec ce correctif ont également une croûte plus dorée; la mie est de coloration blanc crème et de saveur de noisette agréable.

3° *Farine de tourteaux de soja*. — Son addition conduit à des pains plus hydratés et souvent de volume moindre. La mie est légèrement plus colorée.

4° *Poudre de lait écrémé*. — On constate une humidité plus forte dans les pains préparés avec addition de poudre de lait. L'augmentation du taux d'hydratation moyen

varie de 1 à 3 p. 100 suivant le pourcentage d'améliorant employé (2 à 8 p. 100). Le volume du pain est généralement augmenté et parfois dans des proportions assez sensibles.

La poudre de lait écrémé donne une croûte du pain bien dorée, le lactose non fermentescible étant caramélisé au four; la mie présente une coloration blanc crème plus ou moins accusée suivant la proportion de lait employée; elle possède, en outre, une saveur agréable rappelant celle du lait.

Les essais de panification avec « améliorants » biologiques font donc ressortir une élévation constante (sauf dans le cas de la farine de fèves) du taux d'hydratation de la mie du pain frais. Ainsi s'explique l'augmentation du rendement qui n'est dûe qu'à une fixation supplémentaire d'eau dans la pâte et par suite dans la mie, rendue difficilement masticable. C'est pourquoi l'emploi de ces correctifs et notamment des produits maltés, devrait être limité aux pains dits de fantaisie (forme baguette) dont le rapport de la mie à la croûte est relativement faible et dont la fabrication ne saurait être réglementée avec rigueur. Il est d'ailleurs permis d'envisager que, dans un avenir prochain, une sélection méthodique de nos blés indigènes, dont la crise actuelle de surproduction montre toute l'importance, permettra de rendre exceptionnel (récoltes défectueuses ou déficitaires) l'utilisation, trop souvent systématique, des correctifs de la panification.



## Résumé et conclusions

Cette étude d'ensemble sur la farine panifiable et les « améliorants » biologiques de la panification nous a permis :

1° de mettre en relief l'importance de l'équilibre des éléments constitutifs de ce produit alimentaire;

2° de définir les méthodes (chimiques, biologiques et mécaniques) à utiliser pour son examen;

3° et de préciser le rôle des correctifs de la fermentation panaire au double point de vue :

a) de leur influence sur la valeur boulangère des farines;

b) de leur répercussion sur l'état physique du pain.

I. — Après avoir rappelé la structure du grain de blé et la répartition particulière de ses constituants, nous avons fait ressortir que la perfection des procédés modernes de mouture permettait de séparer à volonté les différentes parties du grain; il en résulte plusieurs types de farines suivant le taux d'extraction ou rendement p. 100 en farine panifiable.

Au point de vue strict des exigences alimentaires, nous avons indiqué qu'il n'y avait lieu de retenir que deux types de farines :

a) l'une renfermant la totalité des principes alibiles du grain de blé et dite farine *entière*.

b) l'autre dite farine *intégrale* et représentant l'intégralité de l'albumen.

Pour un blé industriellement propre et de grosseur moyenne, le poids à l'hectolitre sert pratiquement de base au taux d'extraction de ces farines. Un abaissement exagéré du taux d'extraction, obtenu par élimination des gruaux originaires des zones périphérique et médiane de l'albumen, aboutit en effet, comme nous l'avons mis en évidence par l'analyse chimique, à des farines *déséquilibrées*, amylacées à l'excès et dépourvues d'une grande partie des principes minéraux et albuminoïdes du grain.

II. — La nécessité de *normaliser* les méthodes d'examen nous a conduit à ne retenir pour nos essais, effectués pour la plupart en série, que les modes opératoires qui nous ont paru réunir la précision nécessaire et la rapidité d'exécution.

L'*examen physique* des farines (essai Pékar, tamisage, examen microscopique) est d'une importance capitale pour apprécier le travail de la mouture.

En ce qui concerne l'*analyse chimique*, nous avons signalé l'intérêt d'un dosage colorimétrique rapide du manganèse qui permet notamment de rapprocher avec sécurité le pain, de la farine qui a servi à sa fabrication.

Un essai de détermination de la *valeur boulangère* des farines a nécessité des mesures d'ordre biologique et d'ordre mécanique.

a) Au point de vue *biologique*, nous avons montré que le seul fait de la mouture déclenche, dans la farine, des actions diastasiques; en vue de les apprécier dans les pâtes, nous avons dû préciser une méthode de détermination, dans des conditions aussi voisines que possibles de celles de la panification.

En général, les farines examinées possédaient un « *indice de maltose* » suffisant pour dégager un volume convenable de gaz carbonique; on sait, toutefois, qu'une concentration supérieure en sucre fermentescible (surtout si celui-ci provient d'une saccharification diastasique) facilite le développement de la levure et accélère la fermentation.

b) Au point de vue *mécanique*, d'après les essais effectués à l'extensimètre, nous avons insisté sur l'importance d'un judicieux *équilibre* entre la ténacité et l'élasticité (sous réserve, évidemment, d'un W minimum).

Nous avons montré qu'un abaissement exagéré du taux d'extraction déséquilibre les farines au point de vue diastasique et mécanique.

III. — Ce déséquilibre, surtout avec le travail abrégé à la levure, de plus en plus pratiqué, entraîne l'emploi exagéré et sans discernement d'« améliorants » biologiques; nous avons étudié l'influence de ces correctifs sur la valeur boulangère des farines.

a) Au point de vue *biologique* : nous avons montré l'influence nettement favorable de la farine de fèves et surtout des produits maltés; il importe, cependant, de n'ajouter ces correctifs qu'en proportions mesurées.

b) Au point de vue *mécanique* : nos essais ont mis en évidence que l'addition des « améliorants » biologiques ne doit pas être systématique et qu'il convient de faire un emploi judicieux de ces correctifs, si l'on ne veut pas s'exposer à des résultats contraires à ceux attendus.

L'emploi des « améliorants » biologiques entraîne généralement, surtout avec les produits maltés, une fixation supplémentaire d'eau dans la pâte et, par suite, dans la

mie de pain frais qui devient collante, facile à mettre en boule et difficilement masticable.

.\*.

En résumé, un pain normalement développé doit pouvoir être obtenu à partir de toute farine non déséquilibrée, sous réserve d'une panification accomplie dans des conditions de température et de temps indispensables aux phénomènes bio-physico-chimiques qui caractérisent essentiellement la levée de la pâte.

C'est pourquoi nous estimons que l'utilisation des « améliorants » biologiques, comme correctifs de la panification, ne devrait présenter qu'un caractère exceptionnel, cet emploi ayant trop souvent pour conséquence une hydratation exagérée de la mie de pain frais qui nuit à la mastication, condition essentielle de la digestibilité.

*Vu :*  
LE DOYEN,  
P. GUÉRIN.

*Vu :*  
LE PRÉSIDENT,  
GORIS.

*Vu et permis d'imprimer*  
LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,  
S. CHARLETY.

## Bibliographie

1. AMMAN (L.). — Meunerie et Boulangerie (1914). Baillière, édit., p. 317.
2. ANNE (P.). — Comparaison de la méthode de Kjeldahl à celle de Dumas. *Ann. Fals. et Fraudes*, 1934, p. 220.
3. ARPIN (M.) et Mlle PÉCAUD (T.). — Acidité des farines. *Ann. Fals. et Fraudes*, 1922, p. 283.
4. ARPIN (M.). — Dosage du gluten humide dans les farines. *Ann. chim. anal.*, 1902, p. 325.
5. ARPIN (M.). — Détermination de la valeur boulangère. *C. R. trav. semaine du blé*, 1923, p. 11.
6. BAILEY (C.-H.) et LE VESCONTE. — Physical tests of flour quality with the Chopin Extensimeter. *Cereal Chem.*, 1924, 1, p. 38-63.
7. BALLAND (A.). — Recherches sur les blés, les farines et le pain (1894). Lavauzelle, édit.
8. BARATON. — Action comparée des différentes machines de mouture. Cornu, édit.
9. BERLINER et KOOPMAN. — Die Back fähigkeit der Weizenmehle und ihre Ermittlungsmöglichkeiten. *Ztschr. f. das gesamte mühlenwesen*, janvier 1927.
10. BERTRAND (G.) et THOMAS (P.). — Guide pour les manipulations de chimie biologique (1913), Dunod édit., p. 32.
11. BLISH (J.), SANDSTREET (M.), PLATENIUS (H.). — *Cereal Chem.* 1929, p. 121-127.
12. BONDONNEAU. — Dosage de l'humidité des matières amy-lacées. *C. R. Ac Sc.*, 1884, 98.
13. BONNET (R.). — Métabolisme énergétique. Consommation de luxe. *Th. Doct. ès-sc.*, Strasbourg, 1929.

14. BORASIO (L.) et REGE. — Il pneumodinamomètre. *Ind. Chimica*, 1933, 8, p. 1109-1119.
15. BOURQUELOT (E.). — Sur l'emploi des enzymes comme réactif dans les recherches de laboratoires. *Jour. Pharm. et Chim.*, 1907, 25, p. 16.
16. BOUTROUX (L.). — Le pain et la panification (1897), Bailière, édit.
17. BOUTROUX (L.). — Contribution à l'étude de la fermentation panaire. *C. R. Ac. Sc.*, 1883, 97, p. 116.
18. BRABENDER. — Die mehlqualitätsbewertung mit einer automatischen maschine « farinograph ». *Atti del Congresso internazionale de panificazione*, Roma, 1932, p. 102.
19. BRAUN. — Détermination de la valeur boulangère. *Ann. Fals. et Fraudes*, 1924, p. 269-273.
20. BROWN et MORRIS. — Cités par BOUTROUX., *loc. cit.*, p. 35.
21. BRUÈRE (P.). — Taux et répartition du manganèse dans le grain de blé. *C. R. Ac. Sc.*, 1934, 198, p. 504.
22. BRUÈRE (P.). — Remarques technologiques et documentaires sur le blé, la farine et les issues. *Jour. Pharm. et Chim.*, 1931, 14, p. 5.
23. BRUÈRE (P.). — Le taux d'extraction des farines panifiables et les exigences alimentaires. *Bull. Soc. ther.*, déc. 1932.
24. BRUÈRE (P.) et MOGOS (M.). — Tableaux pour la détection des produits utilisés dans la chimie meunière. *Journ. Pharm. et Chim.*, 1931, 13, p. 514.
25. BRUÈRE (P.). — Micro-réaction colorimétrique des protides gluténogènes et des gels celluloseux du grain de blé. *C. R. Ac. Sc.*, 1930, 191, p. 792.
26. BRUÈRE (P.). — Détection des farines de blés dénaturés *Bull. Doct. en Pharm.*, avril-mai 1934.
27. BRUÈRE (P.). — La normalisation et l'expertise chimique *Ann. Fals. et Fraudes*, 1934, p. 6.
28. BRUÈRE (P.). — Le dosage colorimétrique du manganèse appliqué à l'expertise des farines et des pains. *Ann. Fals. et Fraudes*, 1934, p.

29. BRUÈRE (P.). — Normalisation du dosage de l'acidité sulfurique des farines au pH voisin de 8,2. *Journ. Pharm. et Chim.*, 1932, 16, p. 417.
30. BRUÈRE (P.). — Appréciation rapide des farines par touches colorimétriques. *Ann. Fals. et Fraudes*, 1925, p. 161-165.
31. BRUÈRE (P.). — Méthode rapide de dosage du gluten sec *Journ. Pharm. et Chim.*, 1932, 14, p. 449.
32. BRUÈRE (P.). — Le stock glucidique des farines. *Bull. Soc. Chim. Bio.*, 1932, 14, p. 1240.
33. BRUÈRE (P.) et COURBE (J.). — Principaux types d'améliorants biologiques de la panification. *Journ. Pharm. et Chim.*, 1934, 19, 66-78.
34. BRUÈRE (P.) et CHEVALIER (J.). — Farine de fèves et farine de malt en minoterie et en boulangerie. *Ann. Fals. et Fraudes*, sept.-oct. 1933.
35. BRUÈRE (P.). — Détermination rapide de l'humidité du pain. *Documentation Pyrex*, n° 9, nov. 1932.
36. BRUÈRE (P.). — Influence de la composition et de l'état physique du pain sur sa digestibilité. *Communic. Soc. Pathologie comparée*, 10 avril 1934.
37. — *Bulletin officiel*, vol. 92, p. 437.
38. BUNGENBERG DE JONG. — *Trans. Faraday Soc.*, 1932, 28.
39. CAPELLI (G.). — Emploi de la lumière de Wood pour déceler la présence de farine de soja dans la farine de froment. *Annali chim. appl.*, 1923, 17, p. 308.
40. CAZAUBON (E.). — De quelques propriétés des farines de froment. *Bull. Assoc. chimistes de sucrerie et distillerie*, janvier 1930.
41. CHEVALIER (J.). — La panification moderne et les améliorants des farines. *Bull. Soc. ther.*, février 1931.
42. CHEVALIER (J.). — Le malt, les extraits de malt, les produits maltés. *Communicat. au Congrès d'hygiène alimentaire*, Liège, 1911.
43. CHOPIN (M.). — Relation entre les propriétés mécaniques des pâtes de farine et la panification. *C. R. Ac. Sc.*, 1921, 172, p. 450.
44. CHOPIN (M.). — Propriétés mécaniques additives des pâtes de farine de froment. *C. R. Ac. Sc.*, 1930, 190, p. 1449.

45. COHN (E.-J.) et HENDERSON (L.-J.) — The physical chemistry of bread making. *Science*, 1918, 48, p. 501-505.
46. COLIN (H.) et BELVAL (H.). — La genèse des hydrates de carbone dans le blé. *C. R. Ac. Sc.*, 1922, 175, p. 1441 et 1923, 177, p. 343.
47. COLIN (H.) et BELVAL (H.). — Le raffinose dans les céréales. *C. R. Ac. Sc.*, 1933, 196, p. 1825.
48. DE CONDÉ et HEUDEBERT. — Contribution à l'étude de la valeur boulangère des farines. *C. R. Ac. Sc.*, 1933, 197, p. 1150.
49. DE CUGNAC (A.). — Recherches sur les glucides des graminées. *Ann. Soc. Nat. Bot.*, 1931, 13, p. 1.
50. DANGOUMEAU (A.). — Identification du palmitate de sîstosteryle dans l'extrait éthéré des farines de froment. *Bull. Soc. Chim. Bio.*, 1933, 15, p. 1083.
51. DANGOUMEAU (A.). — Note sur la panification. *Bull. Soc. Ch. Bio.*, 1932, 14, p. 1240.
52. DANGOUMEAU (A.) et CUVIER (G.). — Etude de l'action de quelques eaux minérales sur la fermentation paninaire. *Jour. méd. de Bordeaux*, 30 juin 1930.
53. DELOMON (A.). — Valeur boulangère des blés tendres du département de Constantine. *Bull. Ac. Agr.*, 1934, 20, p. 630.
54. DUMAS. — Cité par BOUTROUX, *loc. cit.* p. 161.
55. FLEURENT (E.). — Sur les conséquences de l'évolution de la matière grasse des produits de mouture du blé au cours de leur vieillissement. *Bull. Ac. Agr.*, 1933, 19, p. 783.
56. FLEURENT (E.). — Composition élémentaire du gluten. *Bull. Soc. Encour. p. Ind. nat.*, Paris, 1898.
57. FLEURENT (E.). — Les aspects biologiques, chimiques et économique de la génétique des blés. *Chimie et Industrie*, 1933, p. 1267.
58. FLEURENT (E.). — Cité par LINDET : la farine de fèves en panification. *Bull. Ac. Agr.*, 1920, 6, p. 136.
59. GEOFFROY (R.). — Les glucides du blé et de la farine. *Bull. Soc. Chim.*, 1932, p. 1491.
60. GIRARD (A.) et LINDET. — Le froment et sa mouture 1903), Gauthiers-Villars, édit., p. 44.

61. GIRARD (A.). — Sur la fermentation panaiere. *C. R. Ac. Sc.*, 51, p. 601.
62. GUÉRIN (P.). — Recherches sur le développement du tégument séminal et du péricarpe des graminées. *Th. Doct. es-sc.* Paris 1899.
63. GUILLEMET (R.) et SCHELL (C.). — Sur le « pouvoir diastatique » des farines; sa mesure précise en meunerie.
64. GUILLEMET (R.), SCHELL (C.) et LE FUR (P.). — *Glucides fermentescibles, fermentation alcoolique et production gazeuse en panification.* *C. R. Ac. Sc.*, 1934, 198, p. 1083.
65. HANKOCZY. — L'emploi des farines de caroube dans la panification. *Nuova Vita Rurale*, 1934, p. 12.
66. JAVILLIER (M.) et DJELATIDES. — Sur une technique de dosage des matières protéiques des farines. *Com. Congrès inter. des ind. agr.*, Paris, 1934.
67. JESSEN-HANSEN (H.). — Influence de la concentration en ions hydrogène sur la valeur boulangère de la farine. *C. R. Trav. Labor. Carlsberg*, 1911, 10, p. 170-206.
68. JOHNSON et BAILEY C.-H.). — Studies of wheat flour grades. *Cereal. Chem.*, 1929, p. 140-150.
69. JONES (W.-K.) et SAXBY (J.). — *Ztschr. ges. gestreidewesen*, 1929, 16, p. 171-177.
70. KAYSER (Ed.) et ARPIN (M.). — Rôle de la farine de fèves dans la panification. *Bull. Ac. Agr.*, 1920, 6, p. 144.
71. KLING (A.), FROIDEVAUX (J.) et DUBOIS (F.). — Le rôle joué par la matière grasse contenue dans les farines. *C. R. Ac. Sc.*, 1934, 198, p. 389.
72. LANE et EYNON. — Cité par LOEB, loc. cit., p. 155.
73. LAPICQUE (L.) et LEGENDRE (R.). — Amélioration du pain de guerre par neutralisation des ferments du son. *C. R. Ac. Sc.*, 1917, 175, p. 136.
74. LEBOUcq (J.). — Préparation des solutions d'invertine pour le dosage du saccharose. *Jour. Pharm. et Chim.*, 1933, p. 292.
75. LECOQ (R.). — Les aliments et la vie (1929), p. 197.
76. LECOQ (R.). — Le malt et la pratique du maltage (1934), Vigot, édit.

77. LEGENDRE (R.). — Applications aux céréales de la notion de pH. *Communic. Congrès Meunerie française*, nov. 1928.
78. LEMOIGNE (M.), DESVAUX (R.) et MONGUILLON (P.). — Note sur la valeur de la méthode de KJELDAHL. *Ann. Fals. et Fraudes*, 1934, p. 216.
79. LEYMARIE. — Sur un procédé pratique de dosage de l'humidité dans les produits pharmaceutiques et alimentaires. *Th. Doct. Univ. (Pharmacie)*, Paris, 1934.
80. LINDET, FLEURENT et ARPIN. — Peut-on reconnaître à quel taux une farine a été extraite ? *Ann. Fals. et Fraudes*, 1915, p. 372.
81. LINTNER. — Cité par LOEB, *loc. cit.*, p. XIII.
82. LI-YU-YING et GRANDVOINNET. — Le soja (1912), Challamel, édit.
83. LOEB (J.). — Etude des phénomènes diastasiques dans les farines de froment. *Th. Doct. es-sc.*, Strasbourg, 1930.
84. LURASCHI (A.). — Gli impasti da pane, Roma, 1934, p. 199-210.
85. MAUGET (A.). — Contribution à l'étude de la chimie industrielle des farines. *Th. Doct. Univ. (Pharmacie)*, Nancy, 1901.
86. MILLON. — De la proportion d'eau et de ligneux contenue dans le blé et dans ses principaux produits. *Ann. Chim. et Physique*, 1849, 26.
87. MONTI (E.). — Sulla assimilabilità del pane. *La panificazione*, n° 40, octobre 1933.
88. MONTEUIS. — Le pain blanc (1914), Maloine, édit., p. 127.
89. MOTTIER (P.) et LEMOIGNE (M.). — Méthode pratique de triage des farines suivant leur teneur en débris de sons. *Bull. Ac. Agr.*, 1931, p. 239.
90. O'SULLIVAN. — On the sugars of somme cereals and of germinated grain. *Jour. Chem. soc.*, 1886, 27, p. 64.
91. PISANI-BORG. — Sur l'unification des méthodes d'analyses et d'essais des farines et des blés. *Atti del Congresso internazionale da panificazione*. Roma 1932, p. 392.

92. PORCHER (Ch.). — Le lait desséché (1925). Editions « *Le Lait* », Lyon.
93. *Proceedings of the world's dairy Congress*, Washington, 1924, vol. I, p. 183.
94. ROLLET (A.). — Mémoire sur la meunerie et la boulangerie (1846), p. 316.
95. ROUSSEAUX (E.) et SIROT (M.). — Les matières azotées solubles comme facteur d'appréciation des farines. *Ann. Fals. et Fraudes*, 1913, p. 78 et 1917, p. 556.
96. RUMSEY. — Diastasic enzymeoof of wheat flour and their relation to flour strenght. *Amer. Inst. Baking Bull.*, 1922, 8.
97. RUTNER et BERLINER. — Weitere Beitrage zur charakterisierung von rogen. *Zeitschr. f. d. ges. mühlenwesen*, oktober 1928.
98. SCHRIBAUX (E.). — Amélioration des farines. Comité national d'études politiques et sociales, fasc. 428, p. 2.
99. SCHULTZE (E.) et FRANKFURT (S.). — Ueber die verbreitung des rohrzuckers in den pflanzensamen. *Ber. Chem. Gesellsch.*, 1894, 27, p. 62.
100. SHARP (P.-F.) et GORTNER (R.-A.). — Viscosity as a measure of hydratation capacity of wheat flour and its relation to baking strenght. *Ann. Agr. Exp. St. Bull.* 1923, 19.
101. SKOVHOLT (O.) et BAILEY (C.-H.). — *Cereal Chem.* 1931, 8, p. 374-380.
102. TANRET (Ch.). — Sur la lévosine, nouveau principe immédiat des céréales. *C. R. Ac. Sc.*, 1891. 112. p. 293.
103. THOMAS. — Le dosage du gluten; l'aleuromètre de BOLAND et le farinomètre de KUNIS. *Rev. Int. Milit.*, 1888, 1, p. 149.
104. TISSUE (K.-A.). et BAILEY (C.-H.). — *Cereal. Chem.*, 1931, 8, p. 216 et 217.
105. URBAIN-DUBOIS (F.). — La boulangerie d'aujourd'hui. Flammarion, édit., p. 131.
106. VAN DER LEE (G.). — *Z. ges getreidewesen.*, 1928, 15, p. 110.

107. VANDEVELD. — Influence des hydrates de carbone sur la fermentation panaire. *Verslagen. Kl. Vl. acad.*, 1907, p. 1045.
108. VERAÏN (M.) et CHAUMETTE (J.). — Le pH en biologie (1928), Masson édit., p. 135.
109. DE VILMORIN (J. et R.) et CHOPIN (M.). — La sélection des blés au point de leur valeur boulangère. *Commun. Ac. Agr.*, 8 mai 1929.
110. Vœu émis par la Société de Thérapeutique pour lutter contre la sous-consommation du pain. *Bull. Soc. Thér.*, n° 6, juin 1934.
111. WOODMANN. — Cité par SCHWEISER. Travaux de Chimie alimentaire publiés par le service fédéral de l'hygiène publique à Berne 1927, vol. 18, fasc. 2.

## TABLE DES MATIÈRES

|                    |   |
|--------------------|---|
| AVANT-PROPOS ..... | 1 |
| PLAN .....         | 3 |

### PREMIÈRE PARTIE

#### LA FARINE PANIFIABLE

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CHAPITRE PREMIER. — <i>Notions générales sur le grain de blé et la mouture</i> ..... | 7  |
| I. — Constitution et composition du grain de blé .....                               | 7  |
| II. — Remarques technologiques sur le blé et la mouture .....                        | 12 |
| III. — Procédés de mouture .....                                                     | 14 |
| IV. — Produits de mouture; principaux types de farines .....                         | 17 |
| CHAPITRE DEUXIÈME. — <i>Examen physique des farines</i> ..                           | 21 |
| I. — Caractères organoleptiques .....                                                | 21 |
| II. — Examen au Pékar .....                                                          | 23 |
| III. — Tamisage .....                                                                | 24 |
| IV. — Examen microscopique .....                                                     | 26 |
| CHAPITRE TROISIÈME. — <i>Analyse chimique des farines</i> ..                         | 28 |
| Dosage de l'humidité .....                                                           | 29 |
| — des cendres (et du manganèse).....                                                 | 31 |
| — des débris cellulósiques .....                                                     | 37 |
| — des matières grasses .....                                                         | 39 |
| — de l'acidité .....                                                                 | 41 |
| — du gluten .....                                                                    | 47 |
| — des matières azotées .....                                                         | 50 |
| — de l'amidon .....                                                                  | 51 |
| Répercussion du taux d'extraction sur les principaux facteurs de l'analyse chimique. | 51 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CHAPITRE QUATRIÈME. — <i>Contingent glucidique et pouvoir diastasique des farines</i> .....                           | 53 |
| I. — Physiologie du grain de blé.....                                                                                 | 53 |
| II. — Stock glucidique de la farine .....                                                                             | 57 |
| III. — Mise en évidence des phénomènes diastasiques dans les farines et lois générales auxquelles ils sont soumis.... | 59 |
| IV. — Détermination du pouvoir diastasique des farines .....                                                          | 63 |
| V. — Importance du pouvoir diastasique en panification .....                                                          | 70 |
| CHAPITRE CINQUIÈME. — <i>Propriétés mécaniques des pâtes de farines</i> .....                                         | 73 |
| I. — Importance de la plasticité des pâtes en panification .....                                                      | 74 |
| II. — Description de l'Extensimètre Chopin et procédé de mesure .....                                                 | 76 |
| III. — Indications de l'Extensimètre; interprétation du diagramme .....                                               | 79 |
| IV. — Influence de divers facteurs sur la plasticité des pâtes .....                                                  | 82 |

## DEUXIÈME PARTIE

### LES « AMÉLIORANTS » BIOLOGIQUES DE LA PANIFICATION

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CHAPITRE PREMIER. — <i>La panification moderne et les « améliorants » biologiques</i> ..... | 89  |
| I. — Tendances actuelles de la panification..                                               | 89  |
| II. — Principaux types d' « améliorants » biologiques .....                                 | 93  |
| CHAPITRE DEUXIÈME. — <i>Farine et extrait de malt</i> .....                                 | 97  |
| I. — Examen et analyse .....                                                                | 99  |
| II. — Influences sur la valeur boulangère des farines .....                                 | 102 |
| CHAPITRE TROISIÈME. — <i>Farine de fèves</i> .....                                          | 107 |
| I. — Examen et analyse .....                                                                | 108 |
| II. — Influences sur la valeur boulangère des farines .....                                 | 110 |





---

IMPRIMERIE SPÉCIALE  
DE  
MM. VIGOT Frères

---





